técnica

022 associação dos estudantes do instituto superior técnico
novembro 1974 revista de engenharia

VARÕES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO TIPO A. 40
(«Heliaço» e «SNT 40»)

TENSÕES DE SEGURANÇA
Ra = 2400 kg/cm²
e
Ra = 4000 kg/cm² (SISMOS)

Literatura e Tabelas de Cálculo fornecidas gratuitamente

HELIAÇO, LDA.

R. DE S. JULIÃO, 41, 4.º D. — LISBOA

Tel.: 36 78 17 - 32 37 06 - 36 94 77

UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA

S. A. R. L.

SEDE

Rua de Alexandre Herculano, 244 — PORTO

TELEFONES: 2 76 76 / 77 / 78 / 79 — Est. 90

DELEGAÇÃO

Rua Rosa Araújo, 35 — LISBOA

TEL.: 73 11 81/82/83/84/85/86 - 73 33 33 - 48 49 91

●

ELECTRICIDADE DO LINDOSO E DAS CENTRAIS DO FREIXO E DA CACHOFARRA

●

A **UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA** distribui, pela mais extensa rede de alta tensão em Portugal (cerca de 2 500 km), energia eléctrica em 70 concelhos, nos distritos de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU, LEIRIA, SETÚBAL e ÉVORA.

Carnaxide — Tel. 219 00 37

BIBLIOTECA DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA LISBOA

OFERTA

técnica

NÚMERO 422 NOVEMBRO DE 1974 ANO XLIX VOLUME XXXVI PUBLICAÇÃO MENSAL

DIRECTOR
José de Oliveira Paulo

CHEFE DE REDACÇÃO
Rogério Caldas Pinto

ADMINISTRADOR
Delmar Baptista

SECRETÁRIO
António Maria da Fonseca

REDACTORES
José Agostinho Marques
Jorge Braz
Armando Ruano

DIRECÇÃO, REDACÇÃO E ADMINISTRAÇÃO
Av. Rovisco Pais, I. S. T. — Lisboa
Telefone 72 93 23

PROPRIETÁRIO
A. E. I. S. T.

★

ASSINATURAS:	5 n.os	10 n.os
Continente e Ilhas	140$00	250$.
Países de língua Portuguesa e Espanha	150$00	270$.
Estrangeiro	—	300$.
Número avulso	—	35$.

Não se publica em Agosto e Setembro

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos autores.

PUBLICADA EM
JANEIRO DE 1975

★

COMPOSIÇÃO E IMPRESSÃO NA
MOVIGRÁFICA
Rua do Espírito Santo, 19-A - Odivelas

SUMÁRIO

49 — LUÍS FERNANDO GONÇALVES MORGADO DE AZEVEDO — *Sobre torres espiadas — método de cálculo e um exemplo de aplicação.*
About guyed towers — method of calculation and an example for use.

79 — G. R. INGER — *A unified theory of small disturbances within compressible laminar and turbulent boundary layers.*
Uma teoria unificada de pequenas perturbações em camadas limites compressíveis laminares e turbulentas.

89 — LUCIANO DE OLIVEIRA FARIA — *Produção de máquinas-ferramentas em pequena série.*
Small-scale machine tool production.

97 — TERESA LEVY e ALMEIDA LOUREIRO — *Tratamento, num computador IBM 1130, da informação acerca da trajectória de um satélite artificial.*
Treatment, on a computer IBM 1130, of the information about the trajectory of an artificial satellite.

107 — ROY KENNEDY — *Uma solução económica para ensaios de receptores de comunicações em VHF e UHF.*
An economical solution for tests of communications receiver in VHF and UHF.

CAPA — O minúsculo Fóssil, fonte pré-histórica dos actuais depósitos de petróleo, aparece-nos aqui tal como o vemos por um microscópio electrónico.

ÍNDICE ALFABÉTICO DOS ANUNCIANTES

	pág.
Construções Técnicas	XI
Construções Scheréder	2.ª da capa
Electrotécnicos Reunidos	XIII
Electro-Arco, Lda.	II
Empresa de Cimentos de Leiria	V
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos	X
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações	IX
Fanafel	IX
Harker Sumner	XII
Heliaço	2.ª da capa
Isolux	IV
Livros Técnicos	VIII
MAGUE	VII
Novobra, Lda.	VIII
Sociedade Portuguesa Cavan	IV
S. K. F., Lda.	III
SOLIDAL	VI
Sondagens e Fundações A. Cavaco	II
Sondagens Ródio, Lda.	IV
Sopecate	II
União Eléctrica Portuguesa	2.ª da capa

Colabora neste número a seguinte Agência de Publicidade:

SÉRIO PUBLICIDADE, LIMITADA

Já pensou...

... que o seu anúncio
é muito eficaz se for
publicado na revista que
os seus clientes lêem?
Os milhares de exemplares
de cada número da nossa revista
são lidos por engenheiros
e técnicos, por pessoas ligadas
à indústria, à investigação, ao
ensino, pelos seus clientes,
em suma. Consulte-nos

técnica REVISTA DE ENGENHARIA

Avenida Rovisco Pais • Lisboa 1 • Telef. 72 93 23

fundações
sondagens

Sopecate

especialista há ‡1/4‡ de século

rua do arsenal 146-2º tlf. 36 40 10 • Lisboa

ELECTRO-ARCO, S.A.R.L.

- FABRICANTE DE ELÉCTRODOS E ARAME PARA SOLDADURA AUTOMÁTICA
- EQUIPAMENTO PARA SOLDADURA ELÉCTRICA E OXI-ACETILÉNICA
- ACESSÓRIOS

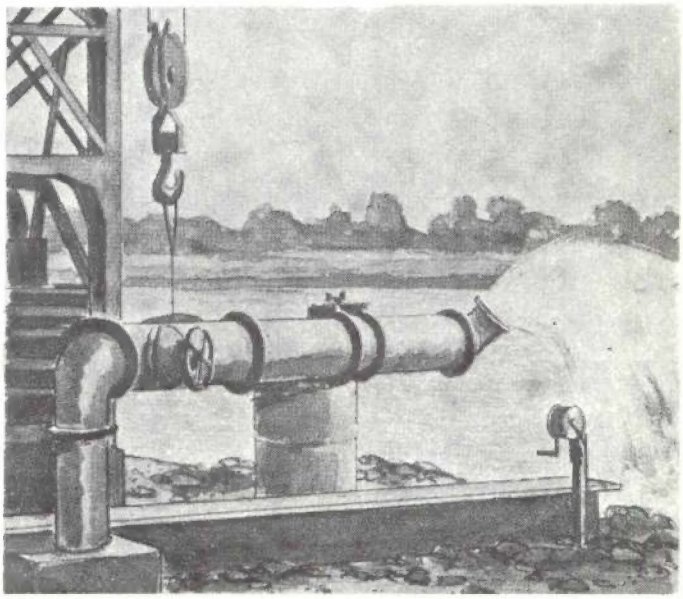
★

MATERIAL APROVADO POR
AMERICAN BUREAU OF SHIPPING
BUREAU VERITAS
DET NORSKE VERITAS
GERMANISCHER LLOYD
INSTITUTO DE SOLDADURA
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

★

SEDE, FÁBRICA E LABORATÓRIOS
Rua Vice-Almirante Azevedo Coutinho, 4
VENDA NOVA — AMADORA
Telefs. 97 63 21 - 97 17 33 - 97 64 71 - 97 06 13
DELEGAÇÃO NO NORTE
Rua Delfim Ferreira, 525
PORTO
Telef. 6 21 24

Água:
eis o que lhe oferecemos!



- Pesquisas e captações de água
- Estudos hidrogeológicos
- Sondagens e Fundações
- Rebaixamento de níveis aquíferos

ACAVACO

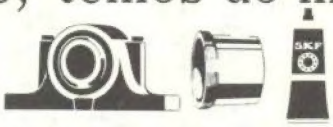
R. Rodrigo da Fonseca, 62, r.c.-Esq. - Lisboa-1
Tel. 56 11 71/2/3/4

SKF

A SKF não tem apenas rolamentos de esferas e de rolos .

Temos também rolamentos de agulhas

rótulas e embutes .

Evidentemente, temos do mesmo modo toda a espécie de acessórios  para rolamentos.

Além disso a SKF fabrica muitos outros produtos de qualidade.

Rodas e carretos cónicos, por exemplo

Fusos roscados de rolamento de alta precisão que transformam o movimento de rotação em linear.

Fabricamos também machos cassonetes

e brocas .

O mesmo se passa com pontos rotativos .

E muitos sabem que também temos um bom Serviço Técnico.

SOCIEDADE SKF LIMITADA

LISBOA - PRAÇA DA ALEGRIA, 66-A
TELEF.: 362301 - TELEGR.: ESKAEF - TELEX: 12156

PORTO - RUA DELFIM FERREIRA, 604
TELEF.: 692054 - TELEGR.: ESKAEF

ISOLUX L.DA

ESTUDOS E INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS

Porto

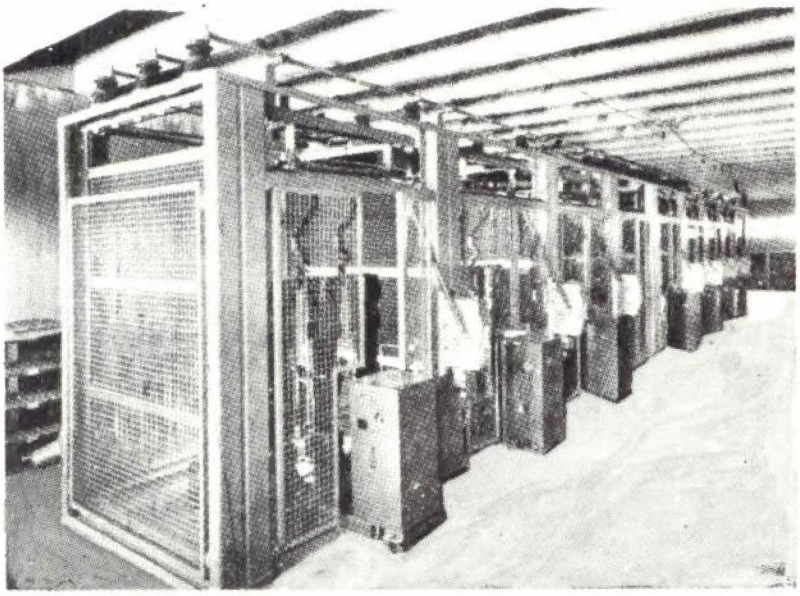
R. Dr. Alfredo Magalhães, 110 - 2º. Dtº.

Tel. 20723

Lisboa

L. Campo Pequeno, 21 - 4º Esq

Tel. 77 00 30/8/9



CELAS ABERTAS DE ALTA TENSÃO

Projectos e instalações eléctricas de:

Centrais

Subestações

Postos de Transformação

Fábricas

Edifícios públicos

Blocos residenciais

Av. Visconde Valmor, 76-1.º - Tel. 766014 (7 linhas) Lisboa-1

SONDAGENS RODIO, LD.

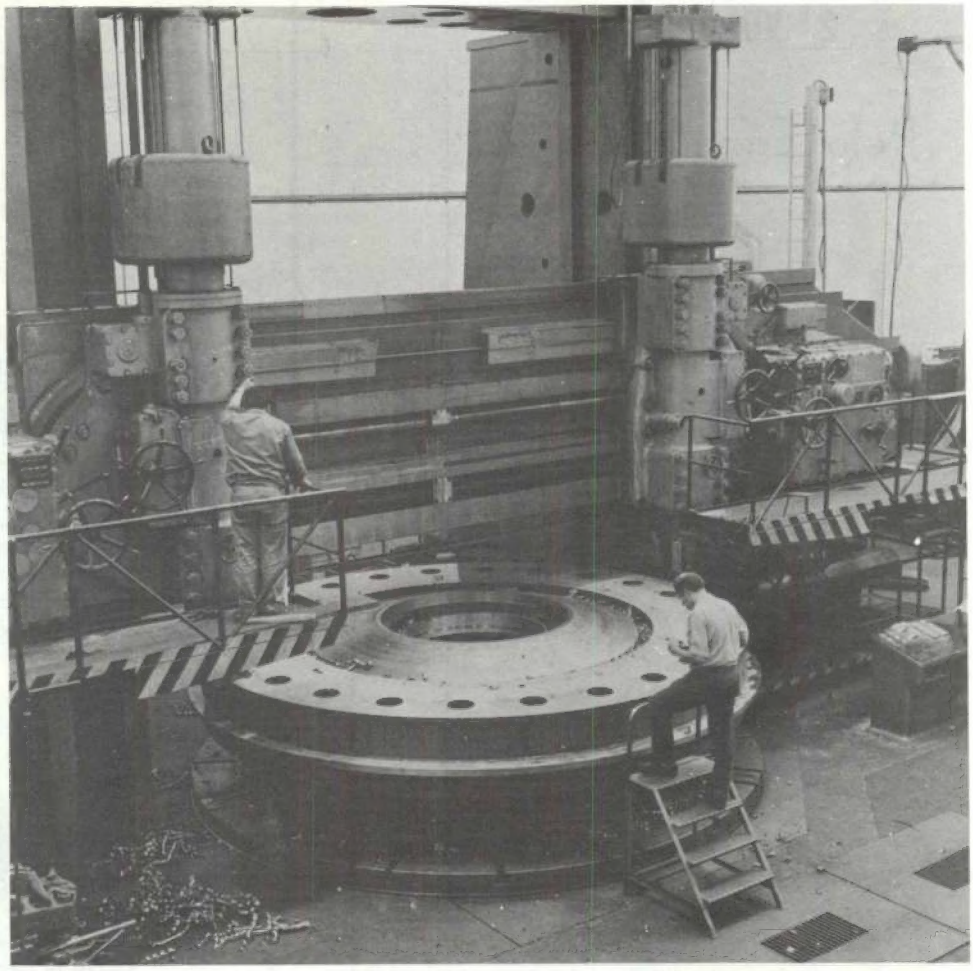
R. S. Bento, 644 - 3º
LISBOA

PORTO
LUANDA
BEIRA

TELEFONE: 68 80 96

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ESTACAS
PAREDES CONTÍNUAS
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS

MAGUE



«Maquinagem do anel superior do distribuidor de 1 das 2 turbinas Francis de 86.500 CV para a Central de Humaya, no México».

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS	*Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS	*Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*
TURBINAS A VAPOR	*Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*
CALDEIRAS A VAPOR	*Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*
EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

Topografia Geral

2.º VOLUME

Pelo Engenheiro

A. C. XEREZ

Preço de cada volume

180$00

•

Desconto: 10% aos assinantes

Pedidos à Técnica

TABELAS PARA O CÁLCULO DE BETÃO ARMADO

por

Brazão Farinha e Mexia Heitor

Preço 250$00
Desconto de 10% aos assinantes

PEDIDOS À

técnica

EMPREZA DE CIMENTOS DE LEIRIA

S. A. R. L.

Distribuidora dos cimentos:

LIZ

TEJO

CABO MONDEGO

SEDE:

R. BRAAMCAMP, 7 - LISBOA-1 - TELEF. 59 161

FÁBRICA:

MACEIRA-LIZ

DELEGAÇÕES:

AV. DOS ALIADOS, 41 - TELEF. 20131 - PORTO

LUGAR DOS SALGADOS - TELEF. 25833 - FARO

cabos isolados de ALUMÍNIO MACIÇO armados e não armados

SOLIDAL

PREÇO COMPETITIVO ■ LEVEZA ■ FACILIDADE DE LIGAÇÃO E MONTAGEM ■ QUALIDADE

COMPLETA GAMA DE ACESSÓRIOS

SOLIDAL - CONDUTORES ELÉCTRICOS, SARL.

LISBOA-Tel. 674828 · PORTO-Tel. 491392 · ESPOSENDE (FÁBRICA)-Tel. 89306

SÉRIO

EDITORIAL

Depois do reinicio da nossa actividade após Abril passado vários problemas se nos têm deparado alguns dos quais dificilmente superáveis.

Com este Editorial pretendemos levar ao conhecimento de todas as pessoas alguns dos mais prementes e de resoluções adoptadas.

Passado um ano de fecho a que fomos sujeitos já depois de outros encerramentos mais ou menos longos encontrámos as nossas instalações num estado perfeitamente caótico.

A acrescentar a este estado a quebra de contacto com as pessoas mais directamente ligados à nossa revista (anunciantes, autores, assinantes, etc.) sendo esta interpretada, algumas vezes, como negligência nossa.

Tem sido assim feito um grande esforço no sentido de garantir a saída normal da revista. No entanto não nos tem sido possível apresentá-la pontualmente devido também a problemas de funcionamento interno e até a outros por nós perfeitamente incontroláveis.

Face à galopante subida de preços das matérias primas, em especial do papel, da mão de obra e do funcionalismo, para garantir a nossa subsistência económica necessário foi a adopção de algumas medidas que, embora não tornando esta secção lucrativa, permitissem minorar os prejuízos que dela advêm.

Assim, depois de ponderar devidamente o problema, decidimos alterar a nossa tabela de Assinaturas dada a sua por demais evidente desactualização e cuja forma actual expomos seguidamente.

Agradecemos desde já toda a colaboração prestada e apelamos uma vez mais para a vossa compreensão.

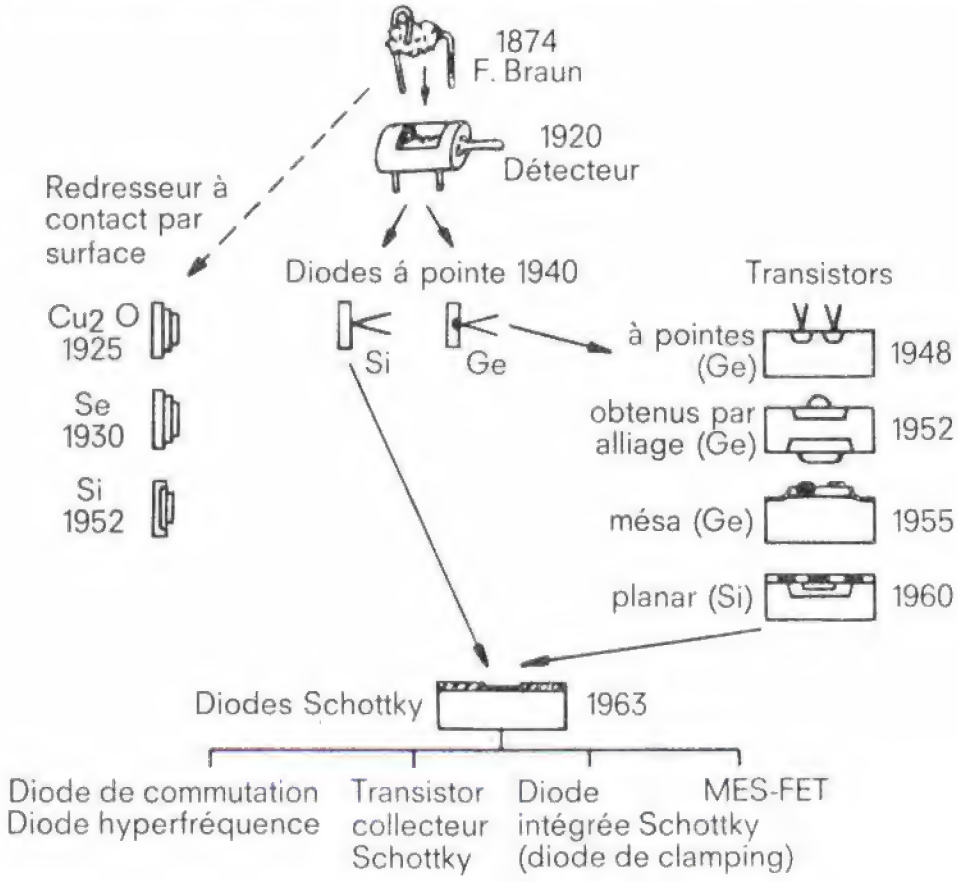
ASSINATURAS:	5 nos.	10 nos.
— Continente e Ilhas	140$00	250$00
— Países de língua Portuguesa e Espanha	150$00	270$00
— Estrangeiro	—	300$00
— Número avulso	35$00	—

Le Centenaire des Redresseurs à Cristal

Le novembre 74 voit le centenaire d'une découverte. Il y a en effet cent ans qu'a été décrit pour la première fois l'effet de redressement des cristaux, qualité en opposition flagrante avec la loi d'Ohm. Ce phénomène a été le point de départ d'une longue lignée de matériel passant par les détecteurs à cristal et les différents modèles de redresseurs pour aboutir aux transistors. L'importance du redressement a été révélée en 1939 par les travaux de Walter Schottky réalisés dans les laboratoires de recherche de Siemens et consacrés à la théorie des couches d'appauvrissement. Son nom a été donné aux diodes spécialement conçues pour les hyperfréquences, elles reflètent parfaitement l'état actuel de la technique qui a enregistré des progrès spectaculaires depuis les redresseurs à cristaux de 1874.

Un quart de siècle de technologie du transistor a permis de passer du transistor à pointes et des transistors obtenus par alliage aux transistors planar et mésa (1960). La technologie planar peut être utilisée avec les jonctions pn et avec les contacts métal-semiconducteur. Les diodes Schottky (mises au point vers 1963) allient les avantages découlant des fréquences élevées des diodes à pointe à ceux provenant de la stabilité mécanique et électrique des semiconducteurs planar.

Les deux types de redresseurs, à savoir les diodes pn et les diodes Schottky, se différencient par leur comportement dynamique. Lors du passage du courant dans les diodes pn, les porteurs de charge sont diffusés à travers la jouction et augmentent la densité de porteurs minoristaires dans les bandes de conduction. Lors de l'inversion de la polarité dans le sens bloquant, ces porteurs de charge doivent disparaître pour que l'effet de blocage puisse avoir lieu. Cette inversion est entachée d'un effet d'inertie. Dans le cas des contacts métal-semiconducteur, seuls entrent en jeu les porteurs majoritaires, il n'y a pratiquement pas d'effet de stockage. Raison pour laquelle les diodes metal-semiconducteur conviennent parfaitement aux applications mettant en jeu des hyperfréquences (varactor, mélangeur et diodes à avalanche notamment). Le contact Schottky a été adopté en tant que diodes de clamping dans les circuits de commutation intégrés bipolaires et dans les transistors à effet de champ (MES-FET).



TÉCNICA

NÚMERO 422 NOVEMBRO DE 1974 ANO XLIX VOLUME XXXVI PUBLICAÇÃO MENSAL

C. D. U. 624.074.6

SOBRE TORRES ESPIADAS - MÉTODO DE CÁLCULO E UM EXEMPLO DE APLICAÇÃO

LUÍS FERNANDO GONÇALVES MORGADO DE AZEVEDO
Assistente do Instituto Superior Técnico

1 — RESUMO

O presente trabalho refere-se ao cálculo automático de uma torre espiada, sendo o método de cálculo suficientemente geral para poder ser utilizado quaisquer que sejam as características elásticas da torre e quaisquer as secções, disposição, número e tracções iniciais das espias. Quaisquer podem ser também as solicitações.

A torre tratada tinha 72 m de altura e era suportada por 16 espias assimetricamente colocadas e amarradas a dois diferentes níveis. Tirou-se partido do facto de a torre se apresentar modulada e calculou-se a matriz de rigidez da consola equivalente a cada um dos módulos referidos, ficando assim a torre constituída por nove peças que se supuseram de comportamento linear.

O típico comportamento não linear da estrutura global (espias de fixação incluídas) foi simulada por uma sucessão de cálculos, cada um em regime linear, indo-se corrigindo sucessivamente a rigidez de cada espia em função do esforço nela instalado, tendo esta sucessão terminado quando os resultados para os esforços nas espias se aproximaram o slficiente dos anteriormente determinados.

Ao fim de sete ciclos a diferença entre aqueles esforços era da ordem de 1%, pelo que se deu o cálculo por terminado.

A solicitação considerada foi a devida ao peso próprio, vento excepcional e variação diferencial de temperatura de 10 C° entre as espias e a torre.

O método de cálculo baseou-se no método dos elementos finitos, tendo sido efectuado em computador com o auxílio de quatro programas operando ciclicamente.

1 — SYNOPSIS

This work concerns the authomatic calculation of a guyed tower. The method of calculation is sufficiently generalized in order that it may be used for any tower and for any sections, number, position and initial stresses of the cables. Any external forces may also be used.

The tower was 72 m high and was guyed by 16 cables non-symmetrically disposed and attached to two different levels. As the tower was modulated, the problem could be simplified by calculating the stifness matrix of each modul, wich has been supposed of linear response.

The typical non-linear behaviour of the structure (cables included) was simulated by a sucession of calculations, each one in linear regime, the stifnesses of the cables being sucessively corrected according to the stresses upon them. Tis sucession came to an end when the differences between two sucessive stresses was about 1% of them.

We considered, as external forces, the net weight of the structure, an exceptional wind and a differential variation of temperature of 10°C between the cables and the tower itself.

The metod of calculation was based on the finite element method. It was accomplished in a computer using four different programs, operating cyclically.

2 — CONSIDERAÇÕES GERAIS, CAMINHO SEGUIDO

2.1 — Tornou-se logo de início evidente que não seria possível, devido à relativamente reduzida memória do computador, tratar a estrutura como ela se apresentava na realidade, isto é, constituída pelas suas 396 barras que se ligavam umas às outras em 180 nós. De facto isso conduzir-nos-ia a uma matriz de rigidez de ordem igual a 1080 e de semi-banda igual a 66 para cuja exclusiva memorização se necessitaria de cerca

de 142560 bites o que requeria uma memória, em computador, mais ou menos 7 vezes maior do que a disponível (Fig. 1, 2 e 3). Foi pois necessário simplificar a estrutura a estudar.

2.2 — Tirando partido do facto de a estrutura se apresentar modulada em 9 sub-estruturas mais simples, (Fig. 1 e 2) procedeu-se à determinação da matriz de rigidez da consola equivalente a cada uma dessas 9 sub-estruturas, ficando a torre constituída por 9 peças que se supuseram de comportamento linear, de matriz de rigidez conhecida, de acordo com a figura 2.

Outras complicações surgiram. Foi evidente que o funcionamento da estrutura (espias de fixação incluídas) seria nitidamente não linear, quer por o comportamento das espias o ser caracteristicamente, quer por se preverem grandes deslocamentos na extremidade superior da torre. Pretendeu-se contudo utilizar ao máximo os programas disponíveis na biblioteca de programas do Centro de Cálculo do LNEC, pelo que se decidiu simular a não linearidade por uma série de cálculos, cada um em regime linear, indo-se corrigindo sucessivamente a rigdez de cada espia em função do esforço nela instalado e esta série de cálculos terminaria quando os sucessivos resultados para os esforços nas espias se aproximassem o suficiente dos anteriormente determinados.

Foi também necessário estudar a influência da acção do vento sobre as espias e os efeitos das variações de temperatura. Todos estes pontos serão, adiante, objecto de mais ampla pormenorização.

CARACTERÍSTICAS DA TORRE

Cota Z	Montantes Área (cm²)	Montantes Inércia (cm⁴)	Faces de 9,5 cm Diagonais Área (cm²)	Faces de 9,5 cm Travessas Área (cm²)	Faces de 8 cm Diagonais Área (cm²)	Faces de 8 cm Travessas Área (cm²)
0,00	Constante $A = 215,5\ cm^2$	Constantes $I_y = 11271\ cm^4$, $I_x = 139752\ cm^4$	56,0		24,0	40,8
8,25				84,6		64,4
16,50			"		24,0	40,8
				64,4		64,4
24,75			"		24,0	40,8
				64,4		64,4
33,00			"		28,0	56,0
				84,6		84,6
41,25			"		28,0	56,0
				84,6		84,6
49,50			"		24,0	48,0
				84,6		84,6
57,75			"		24,0	48,0
				84,6		84,6
66,00			"		37,4	56,0
				84,6		84,6
72,00			56,0		24,0	40,8
				64,4		64,4
	$E = 2100\ t/cm^2$					

UM DOS MÓDULOS DA ESTRUTURA

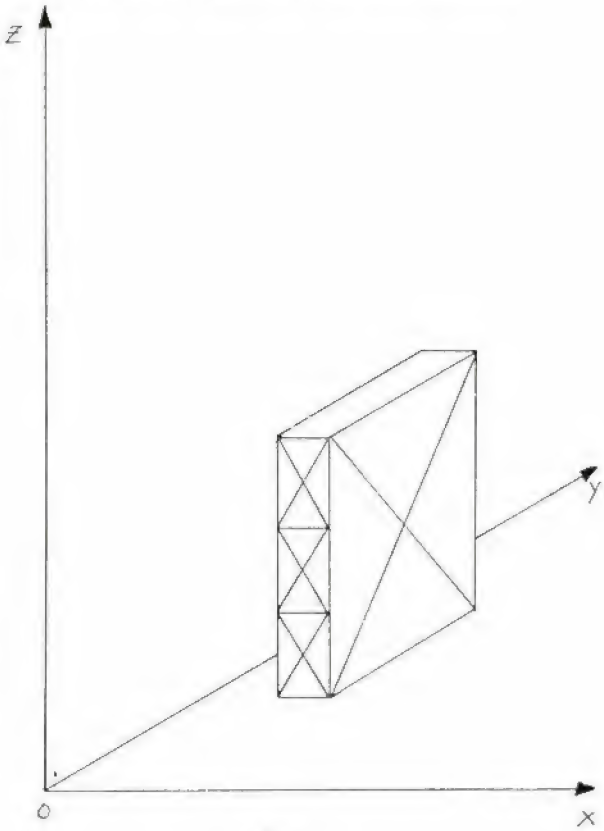


Fig. 1

MODELO MATEMÁTICO DE UM MÓDULO

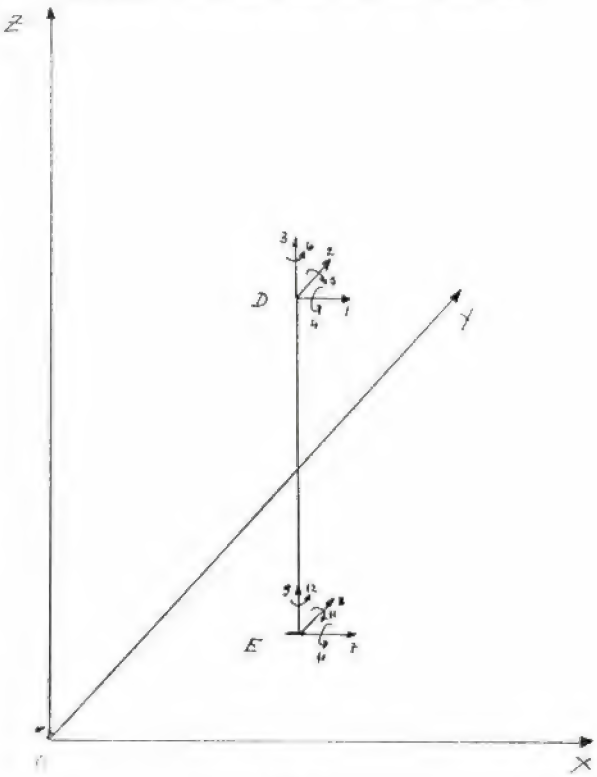


Fig. 2

2.3 — O programa utilizado para a resolução do problema foi o de Elementos Finitos para o qual foi necessário programar novas subrotinas. Para evitar o enfadonho trabalho de preenchimento de folhas de dados, preparou-se também um programa que os gerava automaticamente, a partir das condições iniciais e dos esforços que ao fim de cada um dos cálculos cuja sucessão simulava o comportamento não linear da estrutura, se instalavam nas espias. É neste programa que são calculados também as acções do vento e da temperatura já que nele se determina a solicitação actuante em cada passo.

2.4 — Assim, o método geral de cálculo seguido constou dos seguintes passos:

2.4.1 — Definição do modelo topológico da estrutura. Ver figura 3. A estrutura aparece constituída por nove barras cuja matriz de rigidez se determinou e dezasseis espias que, em cada iteração, foram consideradas como peças lineares resistindo apenas a esforços axiais.

2.4.2 — Cálculo dos esforços que se instalam nas espias (consideradas como referido em 2.4.1) estando a estrutura submetida aos efeitos da solicitação inicial.

2.4.3 — Correcção da rigidez axial das espias, em função dos novos esforços nelas instalado.

2.4.4 — Novo cálculo dos esforços nas espias, como em 2.4.2.

MODELO TOPOLÓGICO DA ESTRUTURA

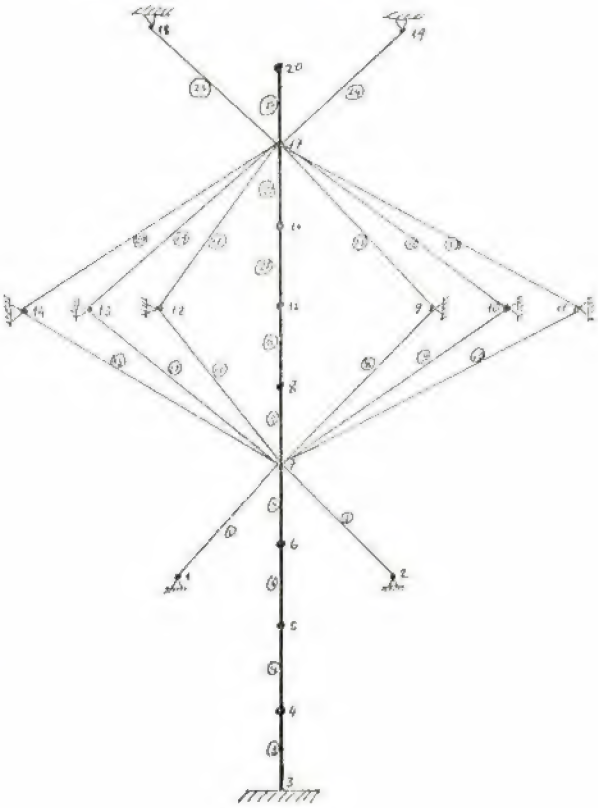


Fig. 3

2.4.5 — Notas — 2.4.5.1 — É no cálculo das solicitações que se reflectem quer os efeitos do vento quer os das variações de temperatura.

2.4.5.2 — É no cálculo referido em 2.4.3 que se reflecte a não linearidade do funcionamento das espias.

2.4.5.3 — Verificou-se que ao fim de 7 ciclos os valores encontrados diferiam dos anteriores em quantidades da ordem dos quilos o que se pode considerar uma aproximação suficiente dado que os valores inicialmente instalados nas espias eram da ordem das dezenas de toneladas.

3 — PORMENORIZAÇÃO

Indicado em 2. o caminho geral seguido, explica-se agora pormenorizadamente o que se fez.

3.1 — *Determinação da matriz de rigidez de cada um dos módulos* [*1*]

Para determinação da matriz de rigidez de cada um dos módulos seguiu-se o seguinte esquema de cálculo:

a) Determinação dos deslocamentos dos nós, para forças generalizadas unitárias aplicadas à sub-estrutura, o que conduziu ao conhecimento da matriz de flexibilidade relativa a uma das extremidades daquela.

b) Inversão da matriz de flexibilidade de modo a obter-se a matriz de rigidez da mesma extremidade.

c) Determinação da matriz de rigidez K_{DD} da barra equivalente.

Foi possível agrupar os 9 módulos, dado alguns apresentarem entre si características geométricas e físicas semelhantes, em 5 casos diferentes. E, uma vez que o processo de cálculo utilizado para cada um destes 5 casos diferentes foi em tudo análogo ao dos outros, limitar-me-ei a descrever o que se passou com um módulo genérico qualquer, apresentando contudo os resultados referentes a todos os cinco.

3.1.1 — *Determinação dos deslocamentos dos nós, para forças generalizadas unitárias*

Considerou-se o módulo referido a um sistema de eixos triortogonal e directo, de acordo com o esquema da figura 4. As características dos elementos do módulo obtiveram-se do quadro já apresentado, fornecido pela empresa que montou as torres:

Notas à figura 4:

1 — Os elementos $\overline{AC}$ e $\overline{BD}$, embora não figurem na estrutura real, foram necessários para conferir rigidez à secção da estrutura no plano paralelo a 102.

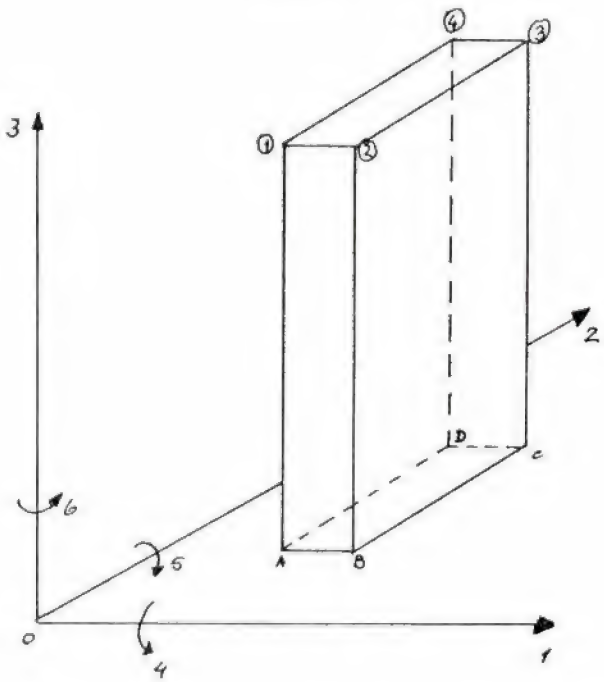
necessário impedir os deslocamentos segundo, respectivamente, as direcções 1, 2 e 3 de modo a tornar não singular a matriz do sistema de equações.

3 — Os nós A, B, C, D, funcionaram como apoios, tendo havido o cuidado de permitir o livre empenamento da secção (deslocamento segundo 3).

As forças unitárias foram aplicadas nos nós 1, 2, 3 e 4, de acordo com os esquemas constantes da figura 5.

Para cada uma destas solicitações e utilizando o programa de Elementos Finitos, calcularam-se deslocamentos Δ^{i}_{jk} (1 = 1, 2, 3, 4; k = 1, ... , 6) designando o índice i o nó a que dizem respeito os deslocamentos, o índice j a direcção generalizada de actuação da solicitação unitária e o índice k a direcção generalizada do deslocamento (ver figura 4). Por exemplo, Δ^{2}_{34} representa o deslocamento do nó 2, segundo a direcção generalizada 4, quando actua a força unitária generalizada segundo a direcção 3. Estes cálculos foram efectuados no computador do LNEC, considerando a estrutura como sendo constituída por barras articuladas nas suas extremidades, de módulo de elasticidade e secção conhecidas. No Anexo I apresentam-se os resultados para cada um dos 5 módulos diferentes.

MÓDULO 1



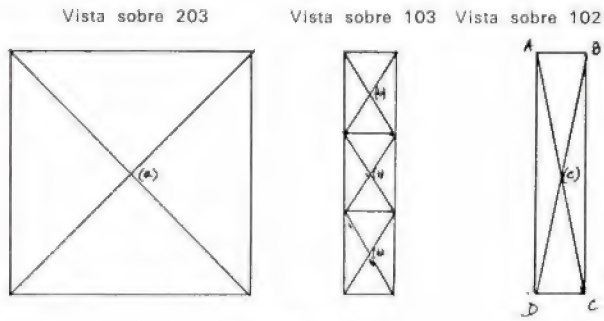


Fig. 4

SOLICITAÇÕES UNITÁRIAS GENERALIZADAS

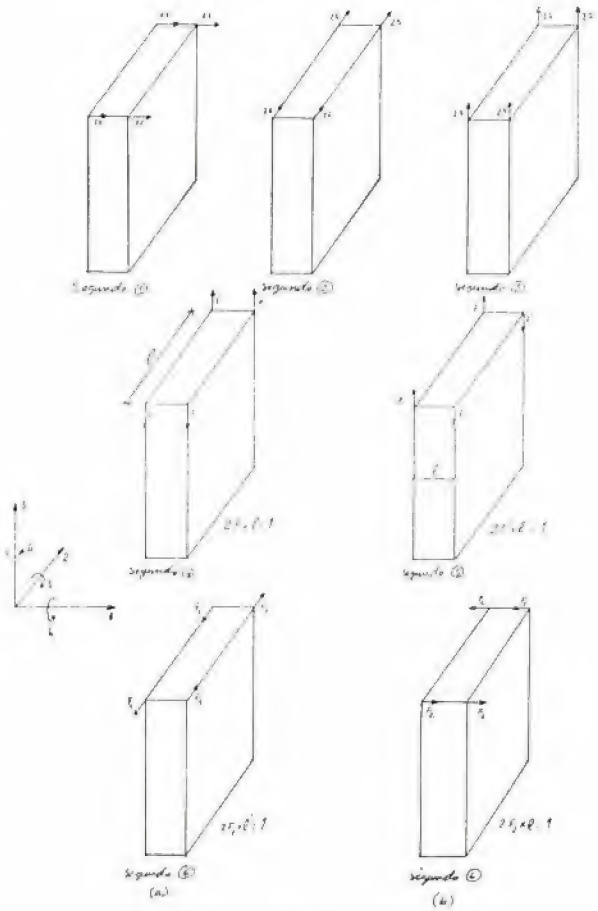


Fig. 5

3.1.2 — *Matriz de flexibilidade* F_{DD} *da barra equivalente*

O esquema adoptado para a barra equivalente foi o constante da figura 6.

De posse dos valores Δ^{i}_{jk} obtidos pelo processo descrito na alínea anterior, e atendendo às diversas simetrias, fácil se tornou encontrar os vários elementos da matriz de flexibilidade da extremidade direita, F_{DD}, uma vez que as forças generalzadas unitárias foram aplicadas àquela extremidade:

$$F_{DD} = [f_{ij}] \qquad (i, j = 7, \ldots, 12)$$

Fig. 6

Assim:

$$f_{77} = \frac{\Delta^1_{11} + \Delta^2_{11} + \Delta^3_{11} + \Delta^4_{11}}{4}$$

$$f_{88} = \frac{\Delta^1_{22} + \Delta^2_{22} + \Delta^3_{22} + \Delta^4_{22}}{4}$$

$$f_{99} = \frac{\Delta^1_{33} + \Delta^2_{33} + \Delta^3_{33} + \Delta^4_{33}}{4}$$

$$f_{10,10} = \frac{|\Delta^1_{43}| + |\Delta^2_{43}| + |\Delta^3_{43}| + |\Delta^4_{43}|}{4} \times \frac{2}{l}$$

$$f_{11,11} = \frac{|\Delta^1_{53}| = |\Delta^2_{53}| = |\Delta^3_{53}| - |\Delta^4_{53}|}{4} \times \frac{2}{l'}$$

$$f_{12,12} = \frac{\dfrac{|\Delta^1_{62}| + |\Delta^2_{62}| + |\Delta^3_{62}| + |\Delta^4_{62}|}{4} \times \dfrac{2}{l'} + \dfrac{|\Delta^1_{61}| + |\Delta^2_{61}| + |\Delta^3_{61}| + |\Delta^4_{61}|}{4} \times \dfrac{2}{l}}{2}$$

$$f_{78} = f_{79} = f_{7\,10} = f_{7\,12} = 0$$

$$f_{89} = f_{8\,11} = f_{8\,12} = 0$$

$$f_{910} = f_{9\,11} = f_{9\,12} = 0$$

$$f_{10\,11} = f_{10\,12} = 0$$

$$f_{11\,12} = 0$$

Em virtude do teorema da reciprocidade, esta matriz é simétrica, faltando apenas determinar os seguintes valores:

$$f_{7\,11} = \frac{\Delta^1_{51} + \Delta^2_{51} + \Delta^3_{51} + \Delta^4_{51}}{4} \quad \text{e}$$

$$f_{8\,10} = \frac{\Delta^1_{42} + \Delta^2_{42} + \Delta^3_{42} + \Delta^4_{42}}{4}$$

para um completo conhecimento da matriz F_{DD}

3.1.3 — *Inversão da matriz* F_{DD} . *Cálculo da matriz de rigidez*

A invasão desta matriz conduz a uma matriz também quadrada, simétrica e de tipo (6 x 6), matriz de rigidez da extremidade direita da barra equivalente (da extremidade direita porque relaciona deslocamentos generalizados unitários do nó que constitui extremidade direita com as forças generalizadas que os provocam). A matriz de rigidez de toda a barra é, como se sabe, também

$$\underline{K} = \left[\begin{array}{c|c} \underline{K}_{EE} & \underline{K}_{ED} \\ \hline \underline{K}_{DE} & \underline{K}_{DD} \end{array}\right]$$

simétrica, do tipo 12 x 12 e de elementos facilmente calculáveis, uma vez já se conhecerem os elementos da matriz K_{DD}.

Assim:

$K_{ij} = K_{ji}$ (i = 1, ... , 6 ; j = 7, ... , 12)

$K_{15} = -K_{71}$, $K_{24} = -K_{8\,10}$, $K_{17} = -K_{11}$, $K_{28} = -K_{44}$

$K_{39} = -K_{99}$, $K_{4\,10} = -K_{10\,10}/2$, $K_{5\,11} = K_{11\,11}/2$,

$K_{6\,12} = -K_{1212}$, $K_{1\,11} = -K_{57} = -K_{7\,11}$,

$K_{2\,10} = -K_{46} = -K_{8\,10}$.

Determinou-se assim a matriz de rigidez de cada uma das barras equivalentes aos módulos. No anexo II indicam-se as matrizes a que se chegou. Para o conhecimento do comportamento global da estrutura, esta grande diminuição no número de equações a tratar não traz qualquer inconveniente, uma vez que se admita que cada um dos módulos trabalha em regime linear.

A determinação dos esforços que se instalam em cada uma das barras reais que constituem a estrutura é facilmente conseguida partindo do conhecimento dos deslocamentos das extremidades da barra equivalente e dos esforços correspondentes a solicitações unitárias, que se apresentam no anexo VII. Não se fez esse cálculo por se considerar de pouco interesse no âmbito deste trabalho.

Uma vez calculada a matriz de rigidez das barras equivalentes aos módulos, o próximo passo seria a programação de uma subrotina para o programa EF que permitisse o tratamento daqueles. Foi o que se fez.

3.2 — *Programaçfão de uma subrotina para o programa de Elementos Finitos*

Teoricamente o problema era muito simples. Por um lado havia o corpo do programa E F que formava a matriz de rigidez global de toda a estrutura a calcular, por espalhamento; por outro, a matriz de rigidez das barras. O sistema de equações resultante (cuja matriz era a matriz de rigidez global e cujo segundo membro era constituído pelo vector da solicitação) era depois resolvido, para se determinarem os deslocamentos generalizados dos nós, com o auxílio de um outro programa, o MSELAB. De posse dos deslocamentos generalizados do nós e do conhecimento da matriz de rigidez de cada um dos elementos da estrutura (conhecimento esse dado por nova utilização do programa E F) fácil era a determinação dos esforços coexistentes com aqueles deslocamentos.

Compreende-se, depois do exposto, que, embora muito simples, o problema da preparação da subrotina punha previamente uma questão da maior importância, a qual era um perfeito conhecimento do modo de funcionamento dos programas E F, nas suas duas utilizações e MSELAB.

A nova subrotina aparece, com o «label» L 110, na listagem do programa E F utilizado para a resolução de todo o problema. Uma primeira parte é constituída pelas instruções de leitura dos elementos não nulos da matriz K_{DD} e pela formação dos restantes elementos significativos das matrizes K_{DE} e K_{EE}. Numa segunda parte indicam-se, no «array» S, as localizações daquelas matrizes e das matrizes A e B que realizam a mudança do referencial da barra para o da estrutura em fita magnética, num «array» geral W. A mudança de referencial propriamente dita é conseguida pelas instruções PROGRAM (98);, PROGRAM (99); e PROGRAM (88);. O espalhamento e acomulação é conseguido com a instrução PROGRAM (97);. A instrução PROGRAM (87); realiza o cálculo do vector das forças generalizadas. Para um melhor conhecimento da estruturação destas instruções e seu funcionamento ver [2], 3.° VOLUME.

3.3 — *As espias. Modo como foram consideradas*

Sendo, como já se disse, a estrutura a calcular constituída por 9 módulos — no modelo, 9 barras de matriz de rigidez conhecida — e 16 espias, forçoso se tornava necessário um estudo atento do modo de funcionamento destas...

E logo surgiu a primeira ideia: indo-se proceder ao cálculo utilizando um processo iterativo, com sucessivas correcções da rigidez axial das espias, por que não considerar cada espia como uma peça linear resistindo apenas a esforços axiais (tendo-se o cuidado de, em cada cálculo parcial, corrigir a respectiva rigidez) com uma rigidez especial, tanto mais que já existe uma subrotina do programa E F, suficientemente tratada, que procedia ao seu cálculo e que permitia facilmente a correcção referida? Foi na realidade o que se fez. Vários problemas foi necessário resolver, no entanto:

3.3.1 — *Cálculo da rigidez axial equivalente*

Considere-se uma espia num sistema de eixos 01,2 ortogonal e directo (ver figura 7).

Ora:

$$x_{1,22} = -\frac{p}{H}\ ^{*}, \quad x_{1,2} = -\frac{p}{H}\, x_2 + C_1 ,$$

$$x_1 = -\frac{p}{2H}\, x_2^2 + C_1\, x_2\, C_2$$

Atendendo às condições de fronteira

$$\begin{cases} x_2 = 0 \\ x_1 = 0 \end{cases} \quad \text{e} \quad \begin{cases} x_2 = l \\ x_1 = -h \end{cases}$$

facilmente se calcula que

$$C_1 = -\frac{h}{l} + \frac{p\,l}{2H} \quad \text{e} \quad C_2 = 0$$

vindo, para equação da espia, naquele sistema de eixos:

$$x_1 = \frac{p}{2H}\, x_2\, (l - x_2) - \frac{h}{l}\, x_2 \ldots\ldots\ldots (1)$$

Por outro lado:

$$H = F.\cos\theta \quad \rightarrow \quad \delta H = \cos\theta\,.\,\delta F.$$

E [3]:

$$L = S\left(1 + \frac{8}{3}\,\frac{f^2\cos^2\theta}{S^2}\right), \quad f = \frac{p'\,S^2}{8\,F} \ldots\ldots\ldots (2)$$

$$^{*}\quad x_{i,j} = \frac{\partial\, x_i}{\partial x_j}$$

em que p' designa o peso do cabo por unidade de comprimento deste.

Pode tirar-se das duas expressões anteriores, por substituição de f:

$$L = S\left(1 + \frac{8}{3}\,\frac{p'^2\,S^4\cos^2\theta}{64\,F^2\,S^2}\right) \quad \ldots\ldots\ (3)$$

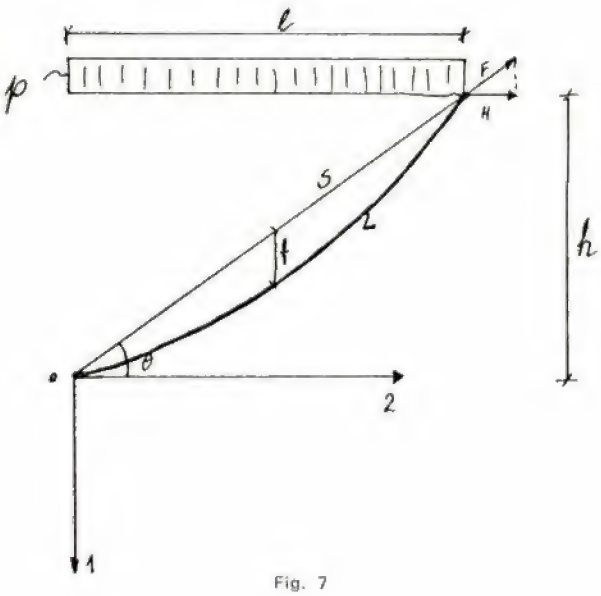


Fig. 7

E, explicitando o valor de F^2:

$$F^2 = \frac{p'^2\,S^3\cos^2\theta}{24\,(L - S)}$$

Diferenciando esta última expressão:

$$2F\delta F = \frac{3\,p'^2\,S^2\cos^2\theta\,\delta S \times 24\,(L - S) + p'^2\,S^3\cos^2\theta \times 24L\delta S}{[24\,(L - S)]^2}$$

ou seja

$$\frac{\delta S}{\delta F} = \frac{48\,(L - S)^2 \times F}{p'^2\,S^2\cos^2\theta\,(3L - 2S)}$$

mas, atendendo a (2) e (3)

$$\frac{\delta S}{\delta F} = \frac{p'^2\,S^4\cos^2\theta}{12\,(3L - 2S)\,F^3} \quad \ldots\ldots\ (4)$$

Há agora que considerar a deformabilidade elástica da espia:

$$\frac{\delta F}{E\Omega_r} = \frac{\delta S}{S} \longrightarrow \frac{\delta S}{\delta F} = \frac{S}{E\Omega_r} \quad \ldots\ldots\ (5)$$

Somando (4) com (5) (Ω_r representa a secção real):

$$\frac{\delta S}{\delta F} = \frac{p'^2\,S^4\cos^2\theta}{12\,(3L - 2S)\,F^3} + \frac{S}{E\Omega_r}$$

$$(E\Omega)_{eq} = \frac{S\delta F}{\delta S} = \frac{S}{\dfrac{p'^2\,S^4\cos^2\theta}{12\,(3L - 2S)\,F^3} + \dfrac{S}{E\Omega r}}$$

ou seja:

$$(E\Omega)_{eq} = \frac{12\,(3L - 2S)\,E \times F^3}{p'^2\,S^4\cos^2\theta\,E\Omega r + 12\,(3L - 2S)\,F^3} \times$$

$$\times\,\Omega r \quad \ldots\ldots\ (6)$$

e tudo se passa como se a barra equivalente à espia tivesse uma secção igual à da espia e um módulo de elasticidade Eeq, variável com o esforço nela instalado:

$$E_{eq} = \frac{A\,F^3}{B + C\,F^3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (7)$$

com

$$A = 12\,(3L - 2S)E\ ,\ B = p'^2\,S^3\cos^2\theta\,E\Omega r$$
$$\text{e}\ C = 12\,(3L - 2S).$$

Torna-se assim fácil, uma vez conhecido o módulo de elasticidade do material de que a espia é feita, o seu comprimento e o comprimento da corda, o peso por metro do seu comprimento e o ângulo que a corda faz com o eixo OX_2 (tudo valores quer fornecidos inicialmente, quer facilmente calculáveis), determinar, ao fim de cada iteração (uma vez que o esforço instalado efectivamente na espia será a soma algébrica do pré-esforço inicial a que ela estava sujeita com o esforço que lhe é induzido na iteração anterior) o módulo de elasticidade equivalente e proceder à iteração seguinte.

Reescreva-se agora a equação (6):

$$(E\Omega)_{eq} = \frac{12\,(3L - 2S)\,E\Omega r}{\dfrac{p'^2\,S^3\cos^2\theta\,E\Omega r}{F^3} + 12\,(3L - 2S)}$$

Tomando limites quando $F \to \infty$:

$$\lim_{F \to \infty} [(E\Omega)_{eq}] = \lim_{F \to \infty} \frac{12\,(3L - 2S)\,E\Omega r}{\dfrac{p'^2\,S^3\cos^2\theta\,E\Omega r}{F^3} + 12\,(3L - 2S)}$$

$$= E\Omega r$$

Quer dizer, no limite, quando $F = \infty$, a espia comporta-se como uma barra com apenas rigidez axial, de comportamento linear, como era aliás de esperar.

Olhe-se agora para a equação (7), em face do exposto conclui-se facilmente que é o valor B o que traduz a não linearidade do comportamento das espias; e a não linearidade será tanto mais importante quanto, numa dada espia, aquele valor for mais importante em relação a A e C. No Anexo IV apresenta-se um quadro com os valores de A, B e C para cada espia, podendo, do seu exame, concluir-se quais delas estão mais afastadas do regime linear.

3.3.2 — *Efeito de variação de temperatura*

Reconsideremos aexpressão (3) do número anterior:

$$L = S + \frac{p'^2 S^3 \cos^2 \theta}{24 F^2}$$

e faça-se a sua representação gráfica, figurando em abcissas valores de F. e em ordenadas valores de L. Ver figura 8.

Ora, dada uma variação de temperatura ΔT, sendo α ocoeficiente de dilatação linear e L_o e F_o o comprimento inicial da espia e o pré-esforço inicial, os novos comprimentos e pré-esforço, L e F, virão relacionados por:

$$L = L_o \frac{F - F_o}{E\,\Omega} + \alpha\,\Delta T L_o + L_o$$

Esta é a equação de uma recta cuja representação gráfica também foi figurada na mesma figura 8.

O «ponto de funcionamento» será manifestamente o da intersecção da curva com a recta. Resolva-se aquele sistema de equações:

$$\begin{cases} L = S + \dfrac{p'^2 S^3 \cos^2 \theta}{24 F^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(a)} \\[2ex] L = Lo \dfrac{F - F_o}{E\Omega} + \alpha\,\Delta T L_o + L_o \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(b)} \end{cases}$$

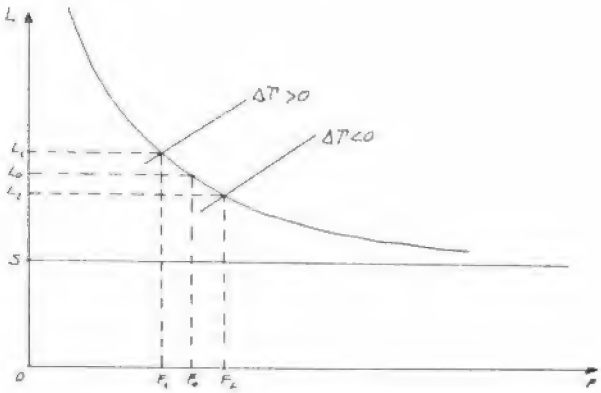


Fig. 8

substituindo (b) em (a)

$$\frac{Lo}{E\Omega}(F - Fo) + \alpha\,\Delta T Lo + Lo = S + \frac{p'^2 S^3 \cos^2 \theta}{24 F^2}$$

$$24\,Lo\,F^3 - 24\,Lo\,Fo\,F^2 + 24\,E\Omega\,(\alpha\,\Delta T\,Lo + Lo)\,F^2 =$$

$$= 24\,E\Omega\,SF^2 + E\Omega\,p'^2\,S^3 \cos^2 \theta$$

$$24\,Lo\,F^3 + 24\,E\Omega\,\left[Lo\,\alpha\,\Delta T + Lo - \left(S + \frac{Lo\,Fo}{E\Omega}\right)\right] F^2 - \Omega E\,p'^2 S^3 \cos^2 \theta = 0$$

$$F^3 + E\Omega\left(1 + \alpha\,\Delta T - \frac{S}{Lo} - \frac{Fo}{E\Omega}\right)F^2 - \frac{E\Omega\,p'^2 S^3 \cos^2 \theta}{24\,Lo} = 0$$

Fazendo:

$$A = E\Omega\left(1 + \alpha\Delta\pi - \frac{S}{Lo} - \frac{Fo}{Er}\right);$$

$$B = -\frac{E\Omega p\,p'^2\,S^3 \cos^2 \theta}{24\,Lo},$$

aquela equação transforma-se em:

$$F^3 + AF^2 + B = 0$$

que é uma equação do 3.º grau. A figura 9 apresenta a representação gráfica da função $F^3 + AF^2 + B$.

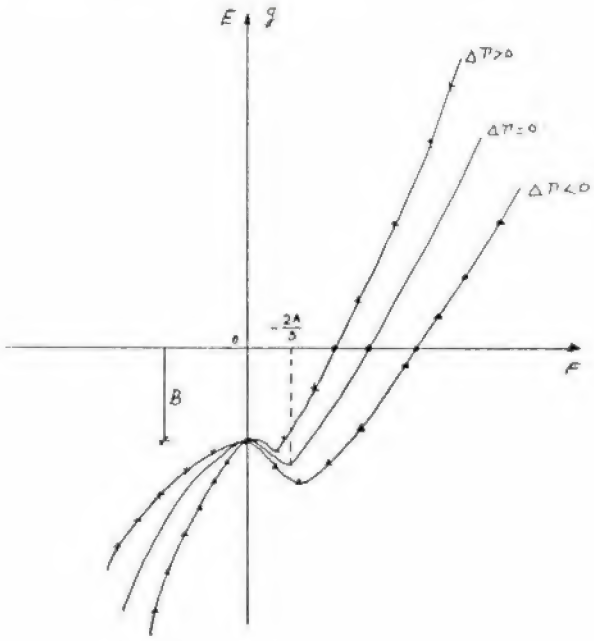


Fig. 9

Esta equação apresenta manifestamente apenas uma raíz que é, afinal, o valor do pré-esforço quando a espia é submetida a uma variação de temperatura ΔT. Será portanto este o valor de F a utilizar na expressão deduzida na alínea anterior para a determinação da rigidez equivalente.

A resolução numérica das diversas equações (uma para cada cabo) foi levada a efeito com um auxílio de um programa existente no Centro de Cálculo de LNEC baseado no método de Newton Ralphson. Impôs-se um erro mínimo de 10^{-5}. Os resultados obtidos para cada cabo vão indicados no ANEXO V.

3.3.3 — *Acção do vento sobre as espias*

A resolução deste problema foi uma aplicação prática de um método estudado pelo Prof. C. Massonet, [3] Consiste, em linhas gerais, no seguinte:

A acção do vento sobre uma espia é dada por

$$h = 0{,}10625\ v^2\ d\ \sin^2 \alpha' \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

em que:

h é a componente perpendicular à espia em Kgf/m;
v é a velocidade do vento em m/s;
d é o diâmetro da espia e
α é o ângulo de ataque do vento, isto é, o ângulo entre a direcção do vento e a da espia.

NOTA: Esta acção assim calculada corresponde a um coeficiente aerodinâmico de 1,7. Com efeito

$$h = 1{,}7 \times q \times d \times \sin^2 \alpha'$$

e sendo

$$q = \frac{v^2}{16}$$

virá, como se tinha visto, $h = 0{,}10625\ v^2\ d\ \sin^2 \alpha'$

O problema reside na determinação do ângulo α, já que as espias são conhecidas e a velocidade do vento a considerar está regulamentada (no caso presente considerou-se o caso do vento excepcional).

Para a determinação de α' considera-se uma espia cujo plano faça ângulo β com a direcção do vento. Ver figura 10.

Por um ponto O (fig. 11) tracemos as paralelas às direcções do vento, da espia e da horizontal CB, situada no plano vertical da espia, direcções essas que são intersectadas por uma esfera de raio unitário e com centro em O.

No triângulo esférico VCH, rectângulo em C, o lado CH vale α e o lado VC vale β. O ângulo a encontrar, α', é representado pelo lado VH. Tem-se pelas fórmulas da trigonometria esférica:

$$\cos \alpha' = \cos \alpha . \cos \beta$$

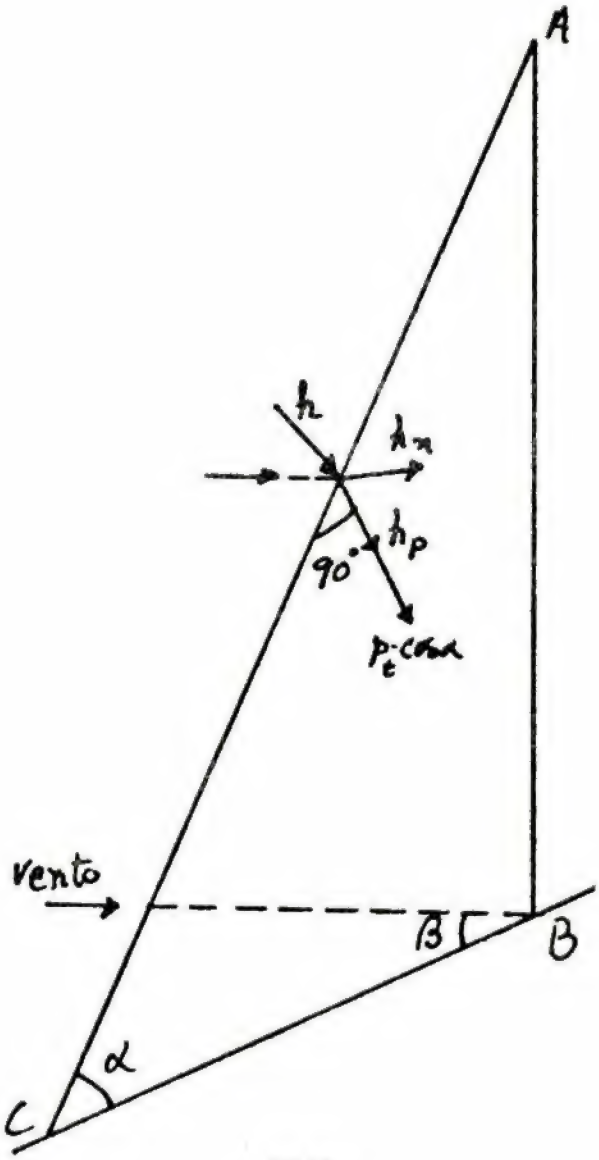


Fig. 10

O esforço h do vento pode assim calcular-se. Actuando perpendicularmente à espia deve agora combinar-se com o peso próprio desta para se poder determinar o esforço normal, total na espia.

Decomponha-se primeiro h nas suas componentes h_p — normal à espia, no plano vertical ABC da espia e h_n perpendicular a este plano (fig 10). Para isso é necessário calcular o ângulo diedro formado pelos planos ABC e VAC contendo as direcções do vento e da espia. Estes planos correspondem, na esfera da fig. 11, aos círculos máximos CH e VH, respectivamente. O ângulo diedro ψ é o ângulo em H do triângulo esférico VCH.

Tem-se assim:

$$\sin \psi = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha'}$$

$$\cos \psi = \sqrt{1 - \sin^2 \psi}$$

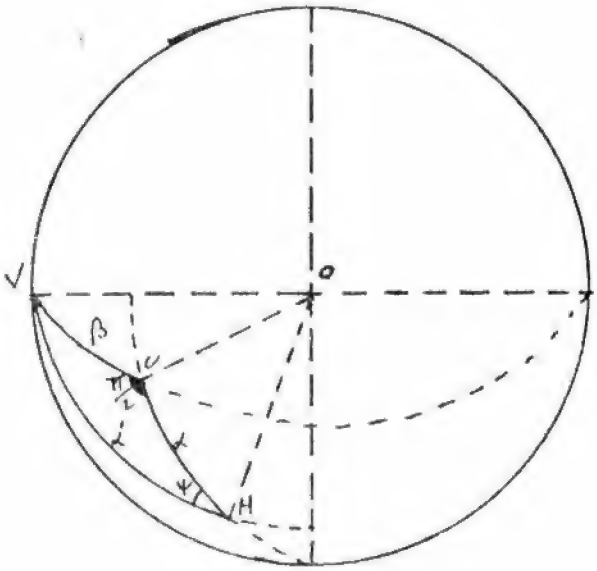


Fig. 11

e

$$h_p = h \cos\varphi \quad ; \quad h_n = h \sin\varphi$$

O esforço h_p no plano vertical da espia deve agora somar-se à componente p_t do peso próprio por metro linear, fornecendo

$$h_p + p_t \cos \alpha$$

Este esforço e a componente h_n têm, por resultante, o valor

$$\sqrt{(h_p + p_t \cos\alpha)^2 + h^2_n}$$

Vê-se assim finalmente que pode levar-se em conta a acção do vento sobre a espia, majorando simplesmente o peso específico das espias pelo factor

$$K = \frac{\sqrt{(h_p + p_t \cos\alpha)^2 + h^2_n}}{p_t \cos\alpha}$$

No Anexo VI fornecem-se os valores de K encontrados para cada espia no caso de vento excepcional.

4 — RESULTADOS NUMÉRICOS

Apresentam-se neste número os resultados numéricos que se obtiveram. Indicam-se, em cada iteração, os valores encontrados para os esforços instalados em cada uma das espias. Pode assim avaliar-se de que modo o cálculo convergiu para uma solução aceitável. No final deste número apresentam-se figuras que ilustram esta convergência. Ver figuras 12 a 19.

a) Esforços iniciais

Espia n.º 1 — Fo = 40.1287 tf
Espia n.º 2 — Fo = 40.1287 tf
Espia n.º 3 — Fo = 41.3614 tf
Espia n.º 4 — Fo = 41.3222 tf
Espia n.º 5 — Fo = 15.4543 tf
Espia n.º 6 — Fo = 15.9305 tf
Espia n.º 7 — Fo = 16.0272 tf
Espia n.º 8 — Fo = 15.4543 tf
Espia n.º 9 — Fo = 44.2456 tf
Espia n.º 10 — Fo = 44.4243 tf
Espia n.º 11 — Fo = 20.7904 tf
Espia n.º 12 — Fo = 21.2861 tf
Espia n.º 13 — Fo = 21.3433 tf
Espia n.º 14 — Fo = 20.7904 tf
Espia n.º 15 — Fo = 42.7236 tf
Espia n.º 16 — Fo = 42.8346 tf

b) Esforços nas espias ao fim de cada iteração

(tf)

	1ª	2ª	3ª	4ª
Espia 1	18.136141	24.30531	20.968721	22.967933
2	18.136141	24.30531	20.868721	22.267933
3	34.969124	38.724960	38.862024	38.810182
4	40.836767	40.828319	40.787987	40.718351
5	17.344010	17.458571	17.446611	17.452479
6	17.690561	17.835934	17.827995	17.832466
7	16.901117	16.921352	16.937988	16.936262
8	17.267331	17.464523	17.357752	17.398945
9	45.897680	45.968605	45.908414	45.962528
10	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
11	16.538496	17.260285	17.123123	17.155186
12	17.535549	17.[illegible]843	17.730720	17.742675
13	19.721212	18.[illegible]	18.938440	18.937138
14	16.760172	17.759794	17.171397	17.179949
15	67.176592	69.[illegible]692	68.954782	68.[illegible]941
16	59.[illegible]125[illegible]	61.[illegible]893	60.899875	60.961362

	5ª	6ª	7ª
Espia 1	21.851629	21.86[illegible]	21.734529
2	21.861629	21.896[illegible]	21.734529
3	38.848871	38.828880	38.837132
4	40.753092	40.756[illegible]	40.744636
5	17.499691	17.498961	17.450311
6	17.828376	17.829316	17.829366
7	16.937162	16.936741	16.936945
8	17.396437	17.397636	17.397055
9	45.924278	45.931987	45.928237
10	49.766660	49.767211	49.757787
11	17.131423	17.135894	17.137797
12	17.743245	17.741867	17.743614
13	18.929425	18.929167	18.929304
14	17.181234	17.179766	17.180622
15	68.987340	68.[illegible]	68.998165
16	60.939679	60.945231	60.938592

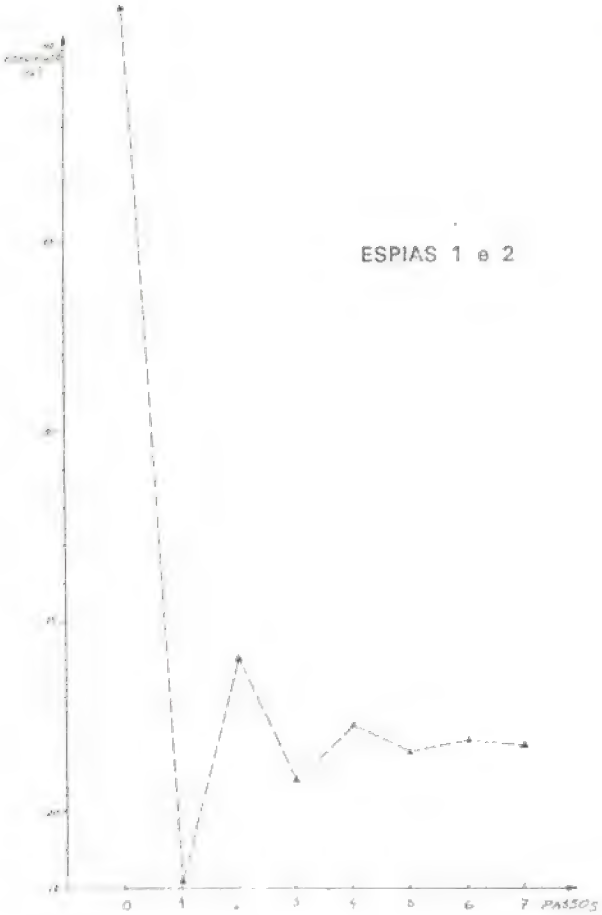


Fig. 12

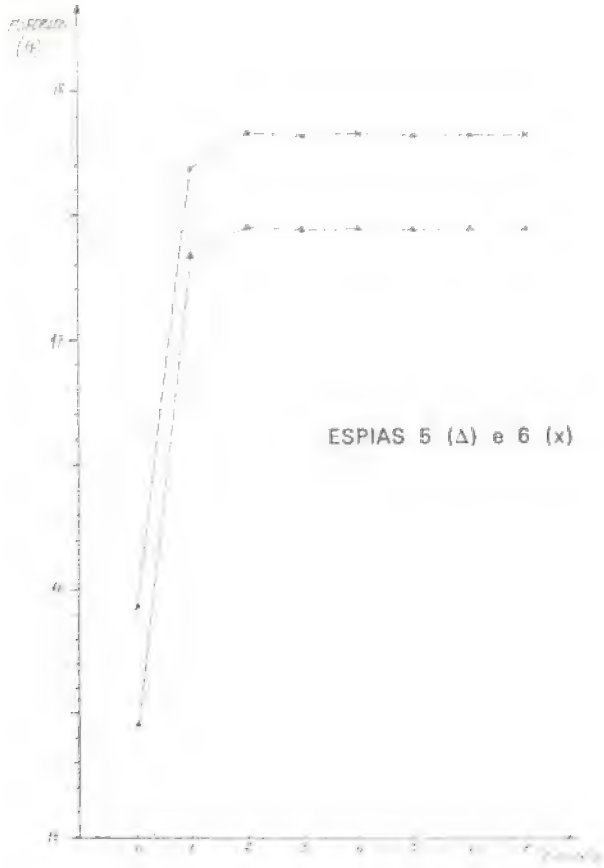


Fig. 14

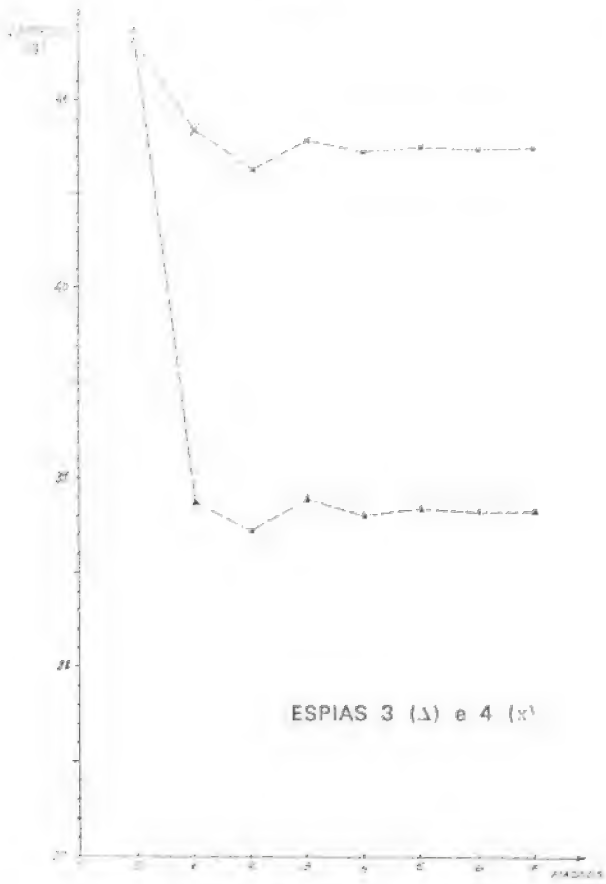


Fig. 13

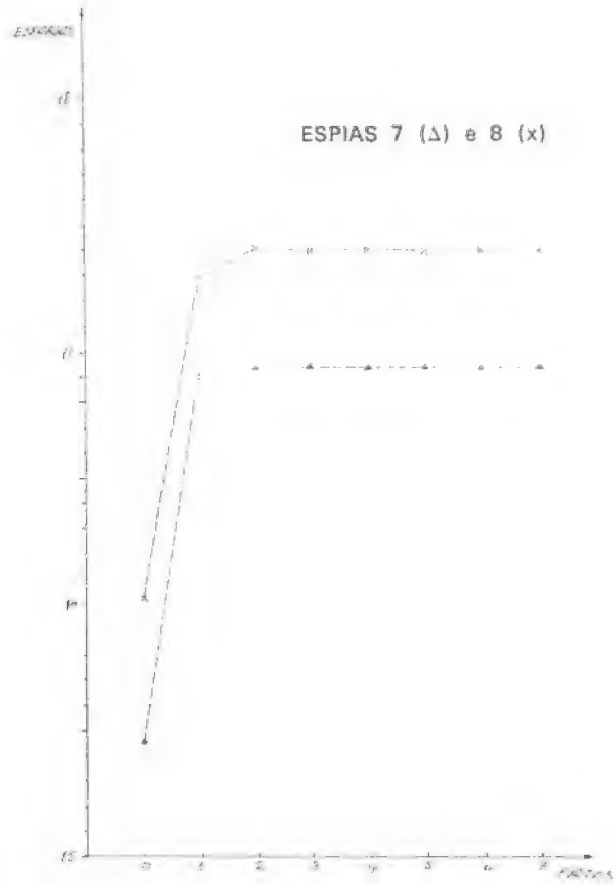


Fig. 15

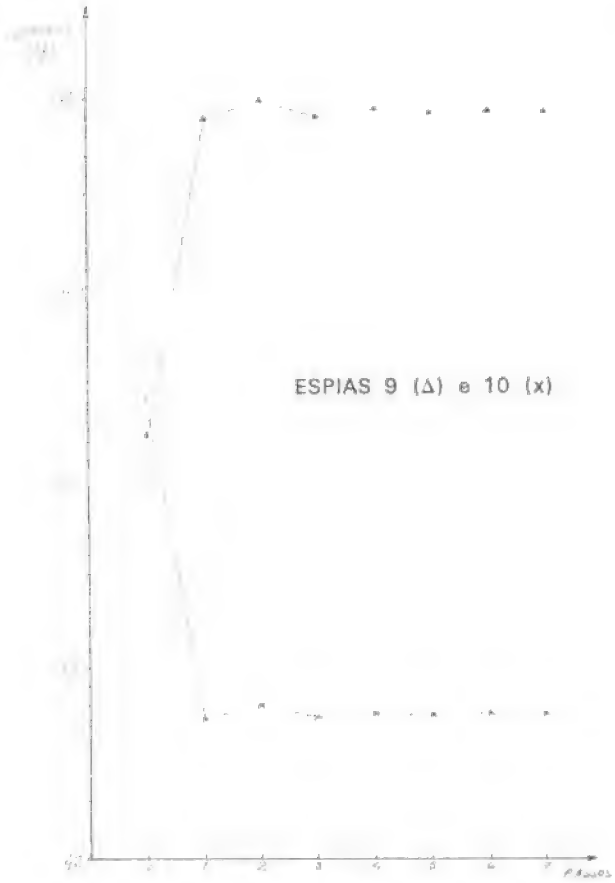


Fig. 16

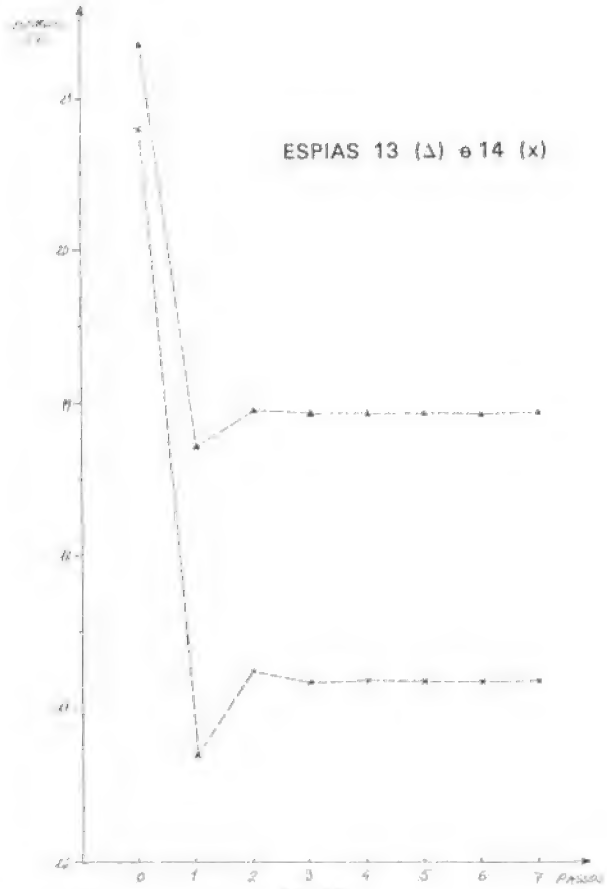


Fig. 18

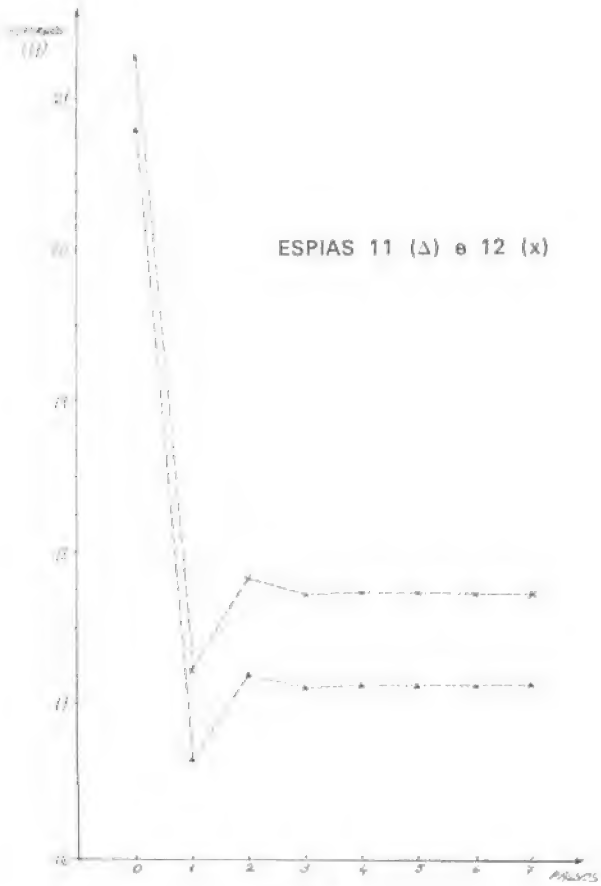


Fig. 17

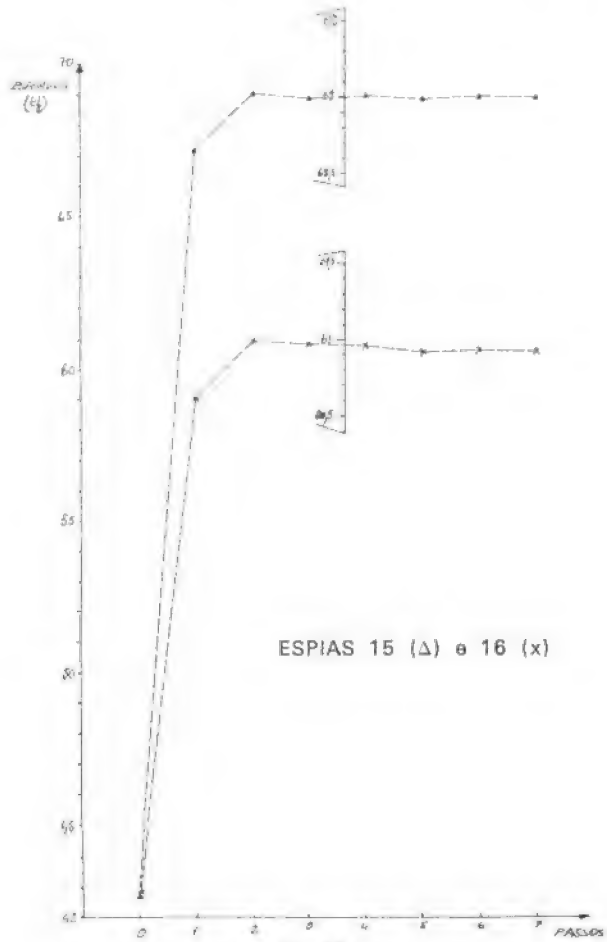


Fig. 19

5 — REVISÃO DE CONHECIMENTOS

Uma vez que se tem uma certa pretensão de que este trabalho venha a ser útil a alguém que se debruce sobre um problema semelhante, faz-se em seguida uma revisão dos artigos (poucos infelizmente) que podem tornar-se recomendáveis para uma consulta. Todos eles existem na biblioteca do LNEC e são facilmente acessíveis por quaisquer técnicos.

1) — Static and Dynamic Analysis of Guy Gables, Donald L. Dean.
— A. S. C. E., vol. 87, n.° ST 1, 1961.

Analisam-se espias de fixação em condições estáticas e dinâmicas e são resolvidos exemplos ilustrativos.

2) — Stability Analysis of Multi — Level Guyed Towers, Frederick H. Houll.
— A. S. C. E., vol. 88, n.° ST 2, 1962.

Desenvolve-se uma análise de estabilidade de uma torre espiada. O resultado é expresso em termos do momento de inércia crítico correspondente a uma solicitação crítica de instabilidade devida ao vento, solcitação que é igual à solicitação provocada pelo vento multiplicado por um coeficiente de segurança. A solução é encontrada por uma linearização de um sistema não linear.

3) — A Study of Guyed Towers, John E. Goldeberg e V. James Meyers.
— A. S. C. E., vol. 91, n.° ST 4, 1965.

4) — Analysis of High Guyed Towers, Ezra G. Odley.
— A. S. C. E., vol. 92, n.° ST 1, 1966.

Apresenta-se um método de análise de torres espiadas sob solicitações horizontais (vento) imediatamente aplicável a cálculo em computador.

5) — Beehavior of Loaded Cable Systems, W. Terence O'Brien.
— A. S. C. E., vol. 94, n.° ST 4, 1968.

É prestada uma particular atenção à importante característica de movimentos verticais das espias, sob a acção de cargas verticais.

6) — How safe are Your Towers?, Joseph R. Arena.
— A. S. C. E., vol. 96, n.° ST 1, 1970.

Uma investigação bastante exaustiva sobre os coeficientes de segurança a usar em torres espiadas e diferentes formas de solicitação a que estão sujeitas.

7) — Curso Dinâmico das Estruturas, Artur Ravara.
—— L. N. E. C., Lisboa, 1970.

Conjunto de lições sobre Dinâmica Aplicada ao cálculo de estruturas proferidas durante um curso de especialização no L. N. E. C.

8) — Matrix Methods of Structual Analysis, R. H. Livesley.

Insere algumas referências bastante fecundas a respeito de estruturas de comportamento nitidamente não linear, com formulação matricial (métodos dos deslocamentos).

6 — CONCLUSÕES

Muito haveria a dizer no capitulo das conclusões. Circunstâncias várias não me permitem aprofundar quanto desejaria as breves considerações que se seguem.

Uma construção como esta, uma torre espiada, é caracterizada por ser capaz de suportar, por ela própria, cargas verticais, estando a sua estabilidade assegurada por espias ou cabos. Pode fazer-se uso deste modo de fixação em numerosos tipos de construções.

Uma torre espiada comporta-se como uma viga contínua sobre vários apoios, submetida a momentos flectores e torsores produzidos pelas cargas horizontais e a compressões longitudinais produzidas pelas cargas verticais.

As cargas horizontais são devidas às tracções exercidas pelas espias e à acção do vento sobre toda a estrutura; as cargas verticais devem-se não só aos pesos próprios da estrutura, aparelhos que sustente, neve e gelo, mas também às reacções das espias. Os apoios da viga contínua são constituídos pelo apoio da base (rótula ou encastramento) e pelos pontos de fixação dos diversos níveis de espia. É fundamental considerar-se o funcionamento das espias em regime não linear. Embora não se tenha tomado em consideração no nosso estudo, cabe aqui uma ligeira referência ao comportamento dinâmico deste tipo de estruturas:

Para calcular a frequência própria duma torre espiada, deverá ter-se em conta a elasticidade dos apoios, a influência das forças de inércia relativas às espias ao efeito das forças axiais de compressão sobre a frequência. Mas nestas condições o problema é demasiado complexo. Pode simplificar-se o cálculo negligenciando a influência da inércia das espias [4].

Por outro lado, as vibrações das vigas contínuas comprimidas axialmente obedeceu, com grande precisão, à lei

$$\left(\frac{f}{f_o}\right)^2 = 1 - \frac{P}{P_{cr}}$$

em que o f_o representa a frequência da viga não comprimida e f a da viga comprimida. Pode assim tomar-se em consideração o efeito das forças axiais de compressão sobre a frequência reduzindo a frequência f_o na relação

$$\sqrt{1 - \frac{P}{P_{cr}}}$$

em que P é o esforço axial na base da torre e P_{cr} o valor da carga crítica de compressão.

Quanto ao primeiro factor referido acima (a elasticidade dos apoios), deve escolher-se a frequência da estrutura quando submetida à acção do vento visto ser este o caso que é determinante para apreciar o perigo da repetição regular das rajadas [5].

ANEXO I — Deslocamentos dos nós dos módulos quando actuados pelas solicitações generalizadas unitárias. Ver figura 5.

Os resultados vão ordenados segundo os módulos e dentro de cada um, segundo os direcções 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

NOTAS: 1 — Cada grupo de 6 números corresponde aos 6 deslocamentos generalizados de cada nó.

2 — Para o caso da torção (solicitação 6) só foi necessário considerar 3 módulos diferentes, mas calcularam-se os deslocamentos para 2 casos diferentes (ver novamente figura 5).

Módulo 1

Forças generalizadas unitárias segundo

as direcções generalizadas

1

.00000000	.00004664	.00013258	-.00000017	-.00000020	.00000022	.00000000
.00000000	-.00000000	.00000209	.00000843	.00002799	.00000032	.00000000
.00000000	.00000431	-.00001103	.00000128	-.00000257	.00000280	.00000000
.00000000	.00000000	-.00000058	-.00000561	-.00000809	.00000013	.00000000
.00000000	.00001934	.00002007	-.00000006	.00000002	.00000002	.00000000
-.00000000	-.00000000	.00000088	-.00000060	.00000021	.00000002	.00000000
.00000000	.00004664	.00013258	.00000017	.00000013	.00000022	.00000000
-.00000000	-.00000000	-.00000209	.00000843	.00005008	.00000032	.00000000
-.00000000	-.00000431	.00001103	-.00000128	.00000385	.00000280	.00000000
-.00000000	.00000000	.00000058	-.00000561	-.00000745	.00000013	.00000000
.00000000	.00001934	.00002007	.00000006	-.00000002	.00000002	.00000000
-.00000000	.00000000	.00000088	-.00000060	-.00000008	.00000002	.00000000
.00000000	.00007786		-.00000017	-.00000013	.00000022	.00000019
.00000000	.00000084		.00000843	.00005008	.00000032	.00000007
-.00000000	.00000988		-.00000128	.00000385	.00000280	.00000140
.00000000	-.00000033	2	-.00000561	-.00000745	.00000013	.00000005
.00000000	.00001922		-.00000006	.00000002	.00000002	.00000006
.00000000	-.00000059		.00000060	.00000008	.00000002	.00000001
.00000000	.00007786	.00000000	.00000000	.00000013	.00000022	.00000019
-.00000000	-.00000084	.00000000	.00002336	.00005008	.00000032	.00000007
.00000000	-.00000988	.00000000	-.00000000	.00000385	.00000280	.00000140
-.00000000	.00000033	-.00000000	-.00000240	.00000745	.00000013	.00000005
.00000000	.00001922	.00000000	-.00000000	.00000002	-.00000002	.00000006
.00000000	-.00000059	.00000000	.00000005	.00000005	.00000002	.00000001
.00002818	.00007786	-.00000000	.00000000	.00000013	.00000014	.00000019
.00000019	-.00000084	.00000000	.00002336	.00005008	.00000060	.00000007
.00000604	-.00000988	.00000000	.00000000	.00000385	.00000421	.00000140
-.00000014	-.00000033	-.00000000	-.00000240	.00000745	-.00000022	.00000005
.00001628	.00001922	-.00000000	-.00000000	.00000002	-.00000003	.00000006
-.00000011	.00000059	-.00000000	-.00000005	.00000008	.00000002	.00000001
.00002818	.00007786	.00000000	.00000020		-.00000014	.00000019
-.00000019	-.00000084	.00000000	.00002799		.00000060	.00000007
-.00000604	.00000988	-.00000000	.00000257		.00000421	.00000140
.00000014	.00000033	-.00000000	-.00000809	3	-.00000022	.00000005
.00001628	.00001922	.00000000	-.00000002		.00000003	.00000006
-.00000011	.00000059	-.00000000	.00000021		-.00000002	.00000001
.00002818	.00013258	-.00000000	-.00000020	.00000000	-.00000014	.00000008
.00000019	.00000209	.00000000	.00002799	.00000000	.00000080	.00000000
-.00000604	.00001103	-.00000000	.00000257	.00000000	.00000421	.00000165
-.00000014	-.00000058	-.00000000	-.00000809	.00000000	.00000022	.00000000
.00001628	.00002007	-.00000000	.00000002	.00000000	.00000003	.00000003
.00000011	-.00000088	.00000000	-.00000021	.00000000	.00000002	.00000000
.00002818	.00013258	.00000017	.00000020	.00000000	.00000014	.00000008
-.00000019	-.00000209	.00000843	.00002799	.00000000	.00000080	.00000000
.00000604	-.00001103	.00000128	-.00000257	.00000000	.00000421	.00000165
.00000014	.00000058	-.00000561	-.00000809	.00000000	.00000022	.00000000
.00001628	.00002007	.00000006	-.00000002	.00000000	.00000003	.00000003
.00000011	-.00000088	.00000060	-.00000021	.00000000	.00000002	.00000000

4		5		6a		6b	
-.0000000	.00000005	.00000000	.00000341	.00000000	.00000283	.00000000	.00000285
.0000000	.00000040	.00000000	.00000022	.00000000	.00000441	.00000000	.00000442
-.0000000	.00000063	.00000000	.00000187	.00000000	.00000001	.00000000	.00000001
.0000000	.00000013	.00000000	.00000009	.00000039	.00000029	.00000039	.00000029
-.0000000	.00000001	.00000000	.00000124	.00000211	.00000062	.00000212	.00000062
-.0000000	.00000001	.00000000	.00000014	.00000004	.00000251	.00000004	.00000252
.0000000	.00000005	.00000000	.00000341	.00000000	.00001212	.00000000	.00001219
-.0000000	.00000040	.00000000	.00000022	.00000000	.00000418	.00000000	.00000419
-.0000000	.00000063	.00000000	.00000187	.00000000	.00000043	.00000000	.00000043
.0000000	.00000013	.00000000	.00000009	.00000076	.00000084	.00000076	.00000084
.0000000	.00000001	.00000000	.00000124	.00000211	.00000221	.00000212	.00000222
.0000000	.00000001	.00000000	.00000014	.00000004	.00000344	.00000004	.00000344
-.0000000	.00000005	.00000000	.00000341	.00000000	.00001212	.00000000	.00001219
-.0000000	.00000040	.00000000	.00000022	.00000000	.00000606	.00000000	.00000608
.0000000	.00000063	.00000000	.00000187	.00000089	.00000042	.00000089	.00000042
.0000000	.00000013	.00000000	.00000009	.00000019	.00000117	.00000019	.00000118
-.0000000	.00000001	.00000000	.00000124	.00000059	.00000220	.00000060	.00000222
.0000000	.00000001	.00000000	.00000014	.00000008	.00000343	.00000008	.00000342
.0000000	.00000005	.00000000	.00000341	.00000000	.00001945	.00000000	.00001956
-.0000000	.00000040	.00000000	.00000022	.00000000	.00000612	.00000000	.00000614
.0000000	.00000063	.00000000	.00000187	.00000000	.00000039	.00000000	.00000039
.0000000	.00000013	.00000000	.00000009	.00000088	.00000113	.00000088	.00000113
.0000000	-.00000001	.00000000	.00000124	.00000366	.00000335	.00000368	.00000337
-.0000000	-.00000001	.00000000	.00000014	.00000004	.00000347	.00000004	.00000347
-.0000000	-.00000003	.00000086	.00000737	.00000160	.00001938	.00000161	.00001949
-.0000001	-.00000082	.00000005	.00000053	.00000051	.00000423	.00000052	.00000424
-.0000000	-.00000094	.00000093	.00000282	.00000355	.00000398	.00000357	.00000401
.0000000	.00000017	.00000004	.00000015	.00000027	.00000079	.00000027	.00000079
-.0000000	.00000001	.00000062	.00000154	.00000292	.00000343	.00000294	.00000345
-.0000000	-.00000001	.00000003	.00000029	.00000047	.00000347	.00000047	.00000348
.0000000	.00000003	.00000086	.00000737	.00000596	.00001813	.00000599	.00001823
-.0000001	-.00000082	.00000005	.00000053	.00000178	.00000598	.00000179	.00000599
-.0000000	-.00000094	.00000093	.00000282	.00000042	.00000002	.00000043	.00000002
.0000000	.00000017	.00000004	.00000015	.00000083	.00000039	.00000083	.00000040
.0000000	-.00000001	.00000062	.00000154	.00000220	.00000215	.00000221	.00000216
.0000000	.00000001	.00000003	.00000029	.00000149	.00000493	.00000150	.00000496
-.0000000	-.00000003	.00000086	.00000737	.00000596	.00001812	.00000599	.00001822
-.0000001	-.00000082	.00000005	.00000063	.00000275	.00000883	.00000276	.00000887
.0000000	.00000094	.00000093	.00000282	.00000042	.00000000	.00000042	.00000000
.0000000	.00000017	.00000004	.00000015	.00000117	.00000077	.00000117	.00000075
-.0000000	.00000001	.00000062	.00000154	.00000220	.00000214	.00000221	.00000216
.0000000	.00000001	.00000003	.00000029	.00000150	.00000493	.00000150	.00000496
.0000000	.00000003	.00000086	.00000737	.00001002	.00000528	.00001008	.00000532
-.0000001	-.00000082	.00000005	.00000063	.00000289	.00000143	.00000290	.00000144
.0000000	.00000094	.00000093	.00000282	.00000039	.00000089	.00000039	.00000090
.0000000	.00000017	.00000004	.00000015	.00000117	.00000019	.00000117	.00000019
.0000000	-.00000001	.00000062	.00000154	.00000352	.00000059	.00000355	.00000059
-.0000000	-.00000001	.00000003	.00000029	.00000158	.00000492	.00000159	.00000495
.0000000		.00000244		-.00000999	.00002864	.00001005	.00002881
.00000000		-.00000000		-.00000202	.00000882	.00000202	.00000885
.00000000		.00000110		-.00000399	.00000003	.00000402	.00000003
.00000011		-.00000000		.00000075	.00000077	.00000075	.00000078
-.00000000		.00000104		-.00000324	.00000332	.00000324	.00000334
-.00000000		-.00000000		.00000164	.00000492	.00000165	.00000494
.00000000		.00000244		-.00000255	.00002865	.00000257	.00002882
.00000000		-.00000000		-.00000312	.00000597	.00000313	.00000598
-.00000000		-.00000110		-.00000162	.00000355	.00000163	.00000358
.00000011		-.00000000		-.00000005	.00000039	.00000006	.00000040
-.00000000		.00000104		-.00000064	.00000332	.00000064	.00000334
.00000000		.00000000		.00000249	.00000492	.00000250	.00000495

Módulo 2

Forças generalizadas unitárias segundo

as direcções generalizadas

1		2		3	
.00000000	.00004701	.00000000	.00000000	.00000000	.00000008
.00000000	-.00000000	.00000000	.00002336	.00000000	.00000000
.00000000	-.00000403	.00000000	.00000000	.00000000	.00000154
.00000000	.00000000	-.00000000	-.00000240	.00000000	.00000000
.00000000	.00001944	.00000000	-.00000000	.00000000	.00000003
-.00000000	.00000000	.00000000	-.00000005	.00000000	.00000000
.00000000	.00007791	-.00000000	.00000020	-.00000000	.00000022
-.00000000	.00000111	.00000000	.00002799	.00000000	.00000042
-.00000000	.00000991	.00000000	.00000257	.00000000	.00000281
-.00000000	-.00000042	-.00000000	-.00000809	.00000000	.00000016
.00000000	.00001924	-.00000000	-.00000002	-.00000000	.00000002
-.00000000	-.00000077	-.00000000	.00000021	-.00000000	.00000002
.00000000	.00007791	.00000000	-.00000020	-.00000000	.00000022
.00000000	-.00000111	.00000000	.00002799	-.00000000	.00000042
-.00000000	-.00000991	-.00000000	.00000257	.00000000	.00000281
.00000000	.00000042	-.00000000	-.00000809	-.00000000	.00000016
.00000000	.00001924	.00000000	.00000002	-.00000000	.00000002
.00000000	-.00000077	-.00000000	-.00000021	.00000000	.00000002
.00000000	.00007791	-.00000000	.00000020	.00000000	.00000022
-.00000000	.00000111	.00000000	.00002799	.00000000	.00000042
.00000000	-.00000991	-.00000000	-.00000257	.00000000	.00000281
-.00000000	-.00000042	-.00000000	-.00000809	.00000000	.00000016
.00000000	.00001924	-.00000000	-.00000002	.00000000	.00000002
.00000000	.00000077	.00000000	-.00000021	-.00000000	.00000002
.00002819	.00007791	.00000017	-.00000020	.00000019	.00000022
.00000027	-.00000111	.00000843	.00002799	.00000010	.00000042
.00000606	.00000991	.00000128	-.00000257	.00000140	.00000281
-.00000020	.00000042	-.00000561	-.00000809	.00000007	.00000016
.00001629	.00001924	.00000006	.00000002	.00000006	.00000002
-.00000016	.00000077	.00000060	.00000021	.00000001	.00000002
.00002819	.00013269	-.00000017	.00000013	-.00000019	.00000014
-.00000027	.00000261	.00000843	.00005008	.00000010	.00000100
-.00000606	.00001107	.00000128	.00000385	.00000140	.00000422
.00000020	-.00000068	-.00000561	-.00000745	.00000007	.00000026
.00001629	.00002009	-.00000006	-.00000002	.00000006	.00000003
-.00000016	-.00000116	-.00000060	-.00000008	.00000001	.00000002
.00002819	.00013269	.00000017	-.00000013	-.00000019	.00000014
-.00000027	.00000261	.00000843	.00005008	.00000010	.00000100
.00000606	-.00001107	-.00000128	-.00000385	.00000140	.00000422
.00000020	-.00000068	-.00000561	-.00000745	.00000007	.00000026
.00001629	.00002009	-.00000006	-.00000002	.00000006	.00000003
.00000016	.00000116	.00000060	.00000008	.00000001	.00000002
.00004701	.00013269	.00000000	-.00000013	.00000008	.00000014
-.00000000	-.00000261	.00002336	.00005008	.00000000	.00000100
.00000403	.00001107	-.00000000	-.00000385	.00000154	.00000422
.00000000	.00000068	-.00000240	-.00000745	.00000000	.00000026
.00001944	.00002009	-.00000000	.00000002	.00000003	.00000003
-.00000000	.00000116	.00000005	-.00000008	.00000000	.00000002

4

-.00000000	.00000253
.00000000	-.00000000
.00000000	-.00000103
.00000000	-.00000000
.00000000	.00000106
-.00000000	.00000000
.00000000	.00000343
-.00000000	.00000028
-.00000000	.00000187
-.00000000	-.00000011
.00000000	.00000124
-.00000000	-.00000019
.00000000	.00000343
.00000000	-.00000028
-.00000000	-.00000187
.00000000	.00000011
.00000000	.00000124
.00000000	-.00000019
.00000000	.00000343
-.00000000	.00000028
.00000000	-.00000187
-.00000000	-.00000011
.00000000	.00000124
.00000000	.00000019
.00000086	.00000343
.00000007	-.00000028
.00000094	.00000187
-.00000005	.00000011
.00000062	.00000124
-.00000004	.00000019
.00000086	.00000739
-.00000007	.00000067
-.00000094	.00000283
.00000005	-.00000017
.00000062	.00000155
-.00000004	-.00000036
.00000086	.00000739
.00000007	-.00000067
-.00000094	-.00000283
-.00000005	.00000017
.00000062	.00000155
.00000004	-.00000036
.00000086	.00000739
-.00000007	.00000067
.00000094	-.00000283
.00000005	-.00000017
.00000062	.00000155
.00000004	.00000036
.00000253	.00000739
-.00000000	-.00000067
.00000103	.00000283
-.00000000	.00000017
.00000106	.00000155
-.00000000	.00000036

5

-.00000000	.00000000
.00000000	.00000000
-.00000000	-.00000000
.00000000	.00000011
-.00000000	-.00000000
-.00000000	.00000000
.00000000	-.00000005
-.00000000	-.00000040
-.00000000	-.00000063
.00000000	.00000013
.00000000	.00000001
.00000000	-.00000001
-.00000000	.00000005
.00000000	-.00000040
.00000000	-.00000063
.00000000	.00000013
-.00000000	-.00000001
.00000000	.00000001
.00000000	-.00000005
-.00000000	-.00000040
.00000000	.00000063
.00000000	.00000012
.00000000	.00000001
-.00000000	.00000001
-.00000004	.00000005
-.00000011	-.00000040
-.00000031	.00000063
.00000008	.00000013
-.00000001	-.00000001
-.00000001	-.00000001
.00000004	-.00000003
-.00000011	-.00000082
-.00000031	-.00000094
.00000008	.00000017
.00000001	.00000001
.00000001	-.00000001
-.00000004	.00000003
-.00000011	-.00000082
.00000031	-.00000094
.00000008	.00000017
-.00000001	-.00000001
.00000001	.00000001
.00000004	-.00000003
-.00000011	-.00000082
.00000031	.00000094
.00000008	.00000017
.00000001	.00000001
-.00000001	.00000001
.00000000	.00000003
.00000000	-.00000082
.00000000	.00000094
.00000011	.00000017
-.00000000	-.00000001
-.00000000	-.00000001

Módulo 3

Forças generalizadas unitárias segundo

as direcções generalizadas

1			3		4
.00000000	.00004264	.00000000	.00000000	.00000000	-.00000007	-.00000000
.00000000	-.00000000	.00000000	.00002336	.00000000	.00000000	.00000000
.00000000	-.00000432	.00000000	.00000000	.00000000	.00000163	-.00000000
.00000000	.00000000	-.00000000	-.00000240	.00000000	-.00000000	.00000000
.00000000	.00001766	.00000000	-.00000000	.00000000	-.00000002	-.00000000
-.00000000	.00000000	.00000000	-.00000004	.00000000	-.00000000	-.00000000
.00000000	.00007100	-.00000000	.00000018	-.00000000	.00000019	.00000000
-.00000000	.00000086	.00000000	.00002798	.00000000	.00000032	-.00000000
-.00000000	.00000996	.00000000	.00000255	.00000000	.00000279	-.00000000
-.00000000	-.00000034	-.00000000	-.00000809	.00000000	-.00000013	.00000000
.00000000	.00001748	-.00000000	-.00000002	-.00000000	-.00000002	.00000000
-.00000000	-.00000060	-.00000000	.00000021	-.00000000	.00000002	.00000000
.00000000	.00007100	.00000000	-.00000018	-.00000000	-.00000019	-.00000000
.00000000	-.00000086	.00000000	.00002798	-.00000000	.00000032	-.00000000
-.00000000	-.00000996	-.00000000	.00000255	.00000000	.00000279	.00000000
.00000000	.00000034	-.00000000	-.00000809	-.00000000	-.00000013	.00000000
.00000000	.00001748	.00000000	.00000002	-.00000000	.00000002	-.00000000
.00000000	-.00000060	-.00000000	-.00000021	.00000000	-.00000002	.00000000
.00000000	.00007100	-.00000000	.00000018	.00000000	-.00000019	.00000000
-.00000000	.00000086	.00000000	.00002798	-.00000000	-.00000032	-.00000000
.00000000	-.00000996	-.00000000	-.00000255	.00000000	.00000279	.00000000
-.00000000	-.00000034	-.00000000	-.00000809	-.00000000	.00000013	.00000000
.00000000	.00001748	-.00000000	-.00000002	.00000000	.00000002	.00000000
.00000000	.00000060	.00000000	-.00000021	-.00000000	.00000002	-.00000000
.00002583	.00007100	.00000016	-.00000018	.00000017	.00000019	-.00000004
.00000020	-.00000086	.00000842	.00002798	.00000007	-.00000032	-.00000011
.00000610	.00000996	.00000127	-.00000255	.00000139	.00000279	-.00000031
-.00000015	.00000034	-.00000561	-.00000809	-.00000006	.00000013	.00000008
.00001486	.00001748	.00000005	.00000002	.00000006	-.00000002	-.00000001
-.00000011	.00000060	.00000060	.00000021	.00000001	-.00000002	-.00000001
.00002583	.00012087	-.00000016	.00000012	-.00000017	.00000013	.00000004
-.00000020	.00000213	.00000842	.00005007	.00000007	.00000081	-.00000011
-.00000610	.00001110	.00000127	.00000383	.00000139	.00000419	-.00000031
.00000015	-.00000059	-.00000561	-.00000745	-.00000006	-.00000022	.00000008
.00001486	.00001831	-.00000005	-.00000002	-.00000006	-.00000002	.00000001
-.00000011	-.00000092	-.00000060	-.00000009	-.00000001	.00000001	.00000001
.00002583	.00012087	.00000016	-.00000012	-.00000017	-.00000013	-.00000004
.00000020	-.00000213	.00000842	.00005007	-.00000007	.00000081	-.00000011
-.00000610	-.00001110	-.00000127	.00000383	.00000139	.00000419	.00000031
-.00000015	.00000059	-.00000561	-.00000745	.00000006	-.00000022	.00000008
.00001486	.00001831	.00000005	.00000002	-.00000006	.00000002	-.00000001
.00000011	-.00000092	-.00000060	.00000009	.00000001	-.00000001	.00000001
.00002583	.00012087	-.00000016	.00000012	.00000017	-.00000013	.00000004
-.00000020	.00000213	.00000842	.00005007	-.00000007	-.00000081	-.00000011
.00000610	-.00001110	-.00000127	-.00000383	.00000139	.00000419	.00000031
.00000015	-.00000059	-.00000561	-.00000745	.00000006	.00000022	.00000008
.00001486	.00001831	-.00000005	-.00000002	.00000006	.00000002	.00000001
.00000011	.00000092	.00000060	.00000009	-.00000001	.00000001	-.00000001
.00004264	.00012087	.00000000	-.00000012	.00000007	.00000013	.00000000
-.00000000	-.00000213	.00002336	.00005007	-.00000000	-.00000081	.00000000
.00000432	.00001110	-.00000000	-.00000383	.00000163	.00000419	.00000000
.00000000	.00000059	-.00000240	-.00000745	.00000000	.00000022	.00000011
.00001766	.00001831	-.00000000	.00000002	.00000002	-.00000002	-.00000000
-.00000000	.00000092	.00000004	-.00000009	-.00000000	-.00000001	-.00000000

5			6a		6b	
.00000000	.00000000	.00000245	.00000000	-.00000268	.00000000	-.00000311
.00000000	.00000000	-.00000000	-.00000000	.00000439	-.00000000	.00000413
-.00000000	.00000000	-.00000110	.00000000	-.00000024	.00000000	.00000008
.00000011	.00000000	-.00000000	.00000030	-.00000033	.00000029	-.00000028
-.00000000	.00000000	.00000104	.00000134	-.00000058	.00000189	-.00000068
.00000000	-.00000000	.00000000	-.00000004	.00000226	-.00000004	.00000236
-.00000004	.00000000	.00000342	.00000000	.00001056	.00000000	.00001093
-.00000040	-.00000000	.00000022	.00000000	-.00000452	.00000000	-.00000350
-.00000062	-.00000000	.00000187	-.00000000	.00000041	-.00000000	.00000045
.00000013	-.00000000	-.00000009	-.00000067	.00000092	-.00000070	.00000071
.00000000	.00000000	.00000124	.00000183	.00000191	.00000189	.00000199
-.00000001	-.00000000	-.00000015	-.00000004	.00000374	-.00000004	.00000302
.00000004	.00000000	.00000342	.00000000	.00001056	.00000000	.00001093
-.00000040	.00000000	-.00000022	-.00000000	.00000640	-.00000000	.00000557
-.00000062	-.00000000	-.00000187	-.00000089	-.00000040	-.00000097	-.00000044
.00000013	.00000000	.00000009	-.00000019	-.00000126	-.00000020	-.00000108
-.00000000	.00000000	.00000124	-.00000059	.00000191	-.00000065	.00000199
.00000001	.00000000	-.00000015	.00000008	.00000374	.00000008	.00000301
-.00000004	.00000000	.00000342	-.00000000	-.00001799	-.00000000	-.00001880
-.00000040	-.00000000	.00000022	.00000000	.00000582	.00000000	.00000587
.00000062	.00000000	-.00000187	.00000000	.00000041	.00000000	.00000039
.00000013	-.00000000	-.00000009	-.00000079	-.00000198	-.00000081	-.00000199
.00000000	.00000000	.00000124	-.00000340	-.00000309	-.00000355	-.00000323
.00000001	.00000000	.00000015	-.00000004	.00000326	-.00000004	.00000323
.00000004	.00000086	.00000342	-.00000160	-.00001794	-.00000158	-.00001875
-.00000040	.00000005	-.00000022	-.00000051	-.00000392	-.00000051	-.00000378
.00000062	.00000093	.00000187	-.00000357	-.00000403	-.00000338	-.00000432
.00000013	-.00000004	.00000009	.00000018	.00000074	.00000017	.00000071
-.00000000	.00000062	.00000124	-.00000265	-.00000317	-.00000281	-.00000331
-.00000001	-.00000003	.00000015	.00000046	.00000327	.00000046	.00000324
-.00000003	.00000086	.00000742	.00000518	.00001574	.00000535	.00001633
-.00000081	-.00000005	.00000054	-.00000183	-.00000636	-.00000147	-.00000498
-.00000094	-.00000093	.00000282	.00000041	-.00000001	.00000044	.00000003
.00000017	.00000004	-.00000015	.00000092	.00000031	.00000070	.00000030
.00000000	.00000062	.00000156	.00000192	.00000185	.00000199	.00000193
-.00000001	-.00000003	-.00000030	.00000151	.00000433	.00000132	.00000469
.00000003	.00000086	.00000742	.00000518	.00001574	.00000535	.00001632
-.00000081	.00000005	-.00000054	.00000280	.00000923	.00000253	.00000812
-.00000094	-.00000093	-.00000282	-.00000041	.00000004	-.00000043	-.00000001
.00000017	-.00000004	.00000015	-.00000126	-.00000069	-.00000107	-.00000071
-.00000000	.00000062	.00000156	.00000192	.00000185	.00000199	.00000193
.00000001	.00000003	-.00000030	.00000151	.00000433	.00000132	.00000468
-.00000003	.00000086	.00000742	-.00000929	-.00000456	-.00000970	-.00000595
-.00000081	-.00000005	.00000054	.00000271	.00000144	.00000275	.00000155
.00000094	.00000093	-.00000282	.00000040	-.00000090	.00000040	-.00000097
.00000017	.00000004	-.00000015	-.00000112	-.00000019	-.00000112	-.00000021
.00000000	.00000062	.00000156	-.00000326	-.00000061	-.00000341	-.00000063
.00000001	.00000003	.00000030	.00000146	.00000449	.00000146	.00000468
.00000003	.00000245	.00000742	-.00000925	-.00002649	-.00000966	-.00002767
-.00000081	-.00000000	-.00000054	-.00000183	.00000834	-.00000177	.00000843
.00000094	.00000110	.00000282	-.00000403	.00000000	-.00000433	-.00000004
.00000017	-.00000000	.00000015	.00000070	-.00000068	.00000067	-.00000071
-.00000000	.00000104	.00000156	-.00000298	-.00000307	-.00000313	-.00000320
-.00000001	-.00000000	.00000030	.00000152	.00000464	.00000152	.00000455
			-.00000240	-.00002649	-.00000284	-.00002768
			-.00000309	-.00000546	-.00000270	-.00000528
			-.00000139	-.00000361	-.00000187	-.00000387
			-.00000002	.00000030	-.00000010	.00000030
			-.00000061	-.00000306	-.00000071	-.00000319
			.00000224	.00000465	.00000235	.00000455

Módulo 4

Forças generalizadas unitárias segundo as direções generalizadas

1		2		3	
.00000000	.00004666	.00000000	.00000000	.00000000	-.00000007
.00000000	-.00000000	.00000000	.00002336	.00000000	.00000000
.00000000	-.00000429	.00000000	.00000000	.00000000	.00000164
.00000000	.00000000	-.00000000	-.00000240	.00000000	-.00000000
.00000000	.00001935	.00000000	-.00000000	.00000000	-.00000002
-.00000000	.00000000	.00000000	-.00000004	.00000000	-.00000000
.00000000	.00007787	-.00000000	.00000018	-.00000000	.00000019
-.00000000	.00000086	.00000000	.00002799	.00000000	.00000033
-.00000000	.00000988	.00000000	.00000256	.00000000	.00000280
-.00000000	-.00000034	-.00000000	-.00000809	.00000000	-.00000013
.00000000	.00001922	-.00000000	-.00000002	-.00000000	-.00000002
-.00000000	-.00000060	-.00000000	.00000021	-.00000000	.00000002
.00000000	.00007787	.00000000	-.00000018	-.00000000	-.00000019
.00000000	-.00000086	.00000000	.00002799	-.00000000	.00000033
-.00000000	-.00000988	-.00000000	.00000256	.00000000	.00000280
.00000000	.00000034	-.00000000	-.00000809	-.00000000	-.00000013
.00000000	.00001922	.00000000	.00000002	-.00000000	.00000002
.00000000	-.00000060	-.00000000	-.00000021	.00000000	-.00000002
.00000000	.00007787	-.00000000	.00000018	.00000000	-.00000019
-.00000000	.00000086	.00000000	.00002799	-.00000000	-.00000033
.00000000	-.00000988	-.00000000	-.00000256	.00000000	.00000280
-.00000000	-.00000034	-.00000000	-.00000809	-.00000000	.00000013
.00000000	.00001922	-.00000000	-.00000002	.00000000	.00000002
.00000000	.00000060	.00000000	-.00000021	-.00000000	.00000002
.00002818	.00007787	.00000016	-.00000018	.00000017	.00000019
.00000020	-.00000086	.00000843	.00002799	.00000007	-.00000033
.00000604	.00000988	.00000128	-.00000256	.00000140	.00000280
-.00000015	.00000034	-.00000561	-.00000809	-.00000006	.00000013
.00001628	.00001922	.00000005	.00000002	.00000006	-.00000002
-.00000011	.00000060	.00000060	.00000021	.00000001	-.00000002
.00002818	.00013259	-.00000016	.00000010	-.00000017	.00000011
-.00000020	.00000212	.00000843	.00005008	.00000007	.00000081
-.00000604	.00001103	.00000128	.00000385	.00000140	.00000420
.00000015	-.00000059	-.00000561	-.00000745	-.00000006	-.00000022
.00001628	.00002007	-.00000005	-.00000003	-.00000006	-.00000003
-.00000011	-.00000090	-.00000060	-.00000009	-.00000001	.00000002
.00002818	.00013259	.00000016	-.00000010	-.00000017	-.00000011
.00000020	-.00000212	.00000843	.00005008	-.00000007	.00000081
.00000604	-.00001103	-.00000128	.00000385	.00000140	.00000420
-.00000015	.00000059	-.00000561	-.00000745	.00000006	-.00000022
.00001628	.00002007	.00000005	.00000003	-.00000006	.00000003
.00000011	-.00000090	-.00000060	.00000009	.00000001	-.00000002
.00002818	.00013259	-.00000016	.00000010	.00000017	-.00000011
-.00000020	.00000212	.00000843	.00005008	-.00000007	-.00000081
.00000604	-.00001103	-.00000128	-.00000385	.00000140	.00000420
.00000015	-.00000059	-.00000561	-.00000745	.00000006	.00000022
.00001628	.00002007	-.00000005	-.00000003	.00000006	.00000003
.00000011	.00000090	.00000060	.00000009	-.00000001	.00000002
.00004666	.00013259	.00000000	-.00000010	.00000007	.00000011
-.00000000	-.00000212	.00002336	.00005008	-.00000000	-.00000081
.00000429	.00001103	-.00000000	-.00000385	.00000164	.00000420
.00000000	.00000059	-.00000240	-.00000745	.00000000	.00000022
.00001935	.00002007	-.00000000	.00000003	.00000002	-.00000003
-.00000000	.00000090	.00000004	-.00000009	-.00000000	-.00000002

4

-.00000000	.00000000
.00000000	.00000000
-.00000000	-.00000000
.00000000	.00000011
-.00000000	-.00000000
-.00000000	.00000000
.00000000	-.00000004
-.00000000	-.00000040
-.00000000	-.00000063
.00000000	.00000013
.00000000	.00000001
.00000000	-.00000001
-.00000000	.00000004
.00000000	-.00000040
.00000000	-.00000063
.00000000	.00000013
-.00000000	-.00000001
.00000000	.00000001
.00000000	-.00000004
-.00000000	-.00000040
.00000000	.00000063
.00000000	.00000013
.00000000	.00000001
-.00000000	.00000001
-.00000004	.00000004
-.00000011	-.00000040
-.00000031	.00000063
.00000008	.00000013
-.00000001	-.00000001
-.00000001	-.00000001
.00000004	-.00000003
-.00000011	-.00000082
-.00000031	-.00000094
.00000008	.00000017
.00000001	.00000001
.00000001	-.00000001
-.00000004	.00000003
-.00000011	-.00000082
.00000031	-.00000094
.00000008	.00000017
-.00000001	-.00000001
.00000001	.00000001
.00000004	-.00000003
-.00000011	-.00000082
.00000031	.00000094
.00000008	.00000017
.00000001	.00000001
-.00000001	.00000001
.00000000	.00000003
.00000000	-.00000082
.00000000	.00000094
.00000011	.00000017
-.00000000	-.00000001
-.00000000	-.00000001

5

-.00000000	.00000245
.00000000	-.00000000
.00000000	-.00000110
.00000000	-.00000000
.00000000	.00000104
-.00000000	.00000000
.00000000	.00000341
-.00000000	.00000022
-.00000000	.00000187
-.00000000	-.00000009
.00000000	.00000124
-.00000000	-.00000015
-.00000000	.00000341
.00000000	-.00000022
-.00000000	-.00000187
.00000000	.00000009
.00000000	.00000124
.00000000	-.00000015
.00000000	.00000341
-.00000000	.00000022
.00000000	-.00000187
-.00000000	-.00000009
.00000000	.00000124
.00000000	.00000015
.00000086	.00000341
.00000005	-.00000022
.00000093	.00000187
-.00000004	.00000009
.00000062	.00000124
-.00000003	.00000015
.00000086	.00000737
-.00000005	.00000054
-.00000093	.00000282
.00000004	-.00000015
.00000062	.00000154
-.00000003	-.00000030
.00000086	.00000737
.00000005	-.00000054
-.00000093	-.00000282
-.00000004	.00000015
.00000062	.00000154
.00000003	-.00000030
.00000086	.00000737
-.00000005	.00000054
.00000093	-.00000282
.00000004	-.00000015
.00000062	.00000154
.00000003	.00000030
.00000245	.00000737
-.00000000	-.00000054
.00000110	.00000282
-.00000000	.00000015
.00000104	.00000154
-.00000000	.00000030

Módulo 5

Forças generalizadas unitárias segundo as direcções generalizadas

1	2	3	4
.00000000	.00003629	.00000000	.00000000	.00000000	-.00000009	-.00000000
.00000000	-.00000000	.00000000	.00002336	.00000000	.00000000	.00000000
.00000000	-.00000437	.00000000	.00000000	.00000000	.00000162	-.00000000
.00000000	.00000000	-.00000000	-.00000239	.00000000	-.00000000	.00000000
.00000000	.00001501	.00000000	-.00000000	.00000000	-.00000003	-.00000000
-.00000000	.00000000	.00000000	-.00000005	.00000000	-.00000000	-.00000000
.00000000	.00006009	-.00000000	.00000021	-.00000000	.00000023	.00000000
-.00000000	.00000087	.00000000	.00002797	.00000000	.00000032	-.00000000
-.00000000	.00001007	.00000000	.00000253	.00000000	.00000277	-.00000000
-.00000000	-.00000035	-.00000000	-.00000809	.00000000	-.00000013	.00000000
.00000000	.00001481	-.00000000	-.00000002	-.00000000	-.00000003	.00000000
-.00000000	-.00000061	-.00000000	.00000021	-.00000000	.00000002	.00000000
.00000000	.00006009	.00000000	-.00000021	-.00000000	-.00000023	-.00000000
.00000000	-.00000087	.00000000	.00002797	-.00000000	.00000032	.00000000
-.00000000	-.00001007	-.00000000	.00000253	.00000000	.00000277	.00000000
.00000000	.00000035	-.00000000	-.00000809	-.00000000	-.00000013	.00000000
.00000000	.00001481	.00000000	.00000002	-.00000000	.00000003	-.00000000
.00000000	-.00000061	-.00000000	-.00000021	.00000000	-.00000002	.00000000
.00000000	.00006009	-.00000000	.00000021	.00000000	-.00000023	.00000000
-.00000000	.00000087	.00000000	.00002797	-.00000000	-.00000032	-.00000000
.00000000	-.00001007	-.00000000	-.00000253	.00000000	.00000277	.00000000
-.00000000	-.00000035	-.00000000	-.00000809	-.00000000	.00000013	.00000000
.00000000	.00001481	-.00000000	-.00000002	.00000000	.00000003	.00000000
.00000000	.00000061	.00000000	-.00000021	-.00000000	.00000002	-.00000000
.00002198	.00006009	.00000020	-.00000021	.00000022	.00000023	-.00000005
.00000020	-.00000087	.00000842	.00002797	.00000007	-.00000032	-.00000011
.00000620	.00001007	.00000126	-.00000253	.00000138	.00000277	-.00000031
-.00000015	.00000035	-.00000561	-.00000809	-.00000006	.00000013	.00000007
.00001258	.00001481	.00000006	.00000002	.00000007	-.00000003	-.00000002
-.00000012	.00000061	.00000060	.00000021	.00000001	-.00000002	-.00000001
.00002198	.00010255	-.00000020	.00000014	-.00000022	.00000016	.00000005
-.00000020	.00000216	.00000842	.00005004	.00000007	.00000080	-.00000011
-.00000620	-.00001121	.00000126	.00000380	.00000138	.00000416	-.00000031
.00000015	-.00000060	-.00000561	-.00000744	-.00000006	-.00000022	.00000007
.00001258	.00001565	-.00000006	-.00000002	-.00000007	-.00000003	.00000002
-.00000012	-.00000097	-.00000060	-.00000008	-.00000001	.00000002	.00000001
.00002198	.00010255	.00000020	-.00000014	-.00000022	-.00000016	-.00000005
.00000020	-.00000216	.00000842	.00005004	-.00000007	.00000080	-.00000011
-.00000620	-.00001121	-.00000126	.00000380	.00000138	.00000416	.00000031
-.00000015	.00000060	-.00000561	-.00000744	.00000006	-.00000022	.00000007
.00001258	.00001565	.00000006	.00000002	-.00000007	.00000003	-.00000002
.00000012	-.00000097	-.00000060	.00000008	.00000001	-.00000002	.00000001
.00002198	.00010255	-.00000020	.00000014	.00000022	-.00000016	.00000005
-.00000020	.00000216	.00000842	.00005004	-.00000007	-.00000080	-.00000011
.00000620	-.00001121	-.00000126	-.00000380	.00000138	.00000416	.00000031
.00000015	-.00000060	-.00000561	-.00000744	.00000006	.00000022	.00000007
.00001258	.00001565	-.00000006	-.00000002	.00000007	.00000003	.00000002
.00000012	.00000097	.00000060	.00000008	-.00000001	.00000002	-.00000001
.00003629	.00010255	.00000000	-.00000014	.00000009	.00000016	.00000000
-.00000000	-.00000216	.00002336	.00005004	-.00000000	-.00000080	.00000000
.00000437	.00001121	-.00000000	-.00000380	.00000162	.00000416	.00000000
.00000000	.00000060	-.00000239	-.00000744	.00000000	.00000022	.00000010
.00001501	.00001565	-.00000000	.00000002	.00000003	-.00000003	-.00000000
-.00000000	.00000097	.00000005	-.00000008	-.00000000	-.00000002	-.00000001

5			6a		6b	
.00000000	.00000000	.0000024	.00000000	-.00000322	.00000000	-.00000324
.00000000	.00000000	-.0000000	-.00000000	.00000384	-.00000000	.00000385
-.00000000	.00000000	-.0000011	-.00000000	-.00000001	-.00000000	-.00000001
.00000010	.00000000	-.0000000	.00000014	-.00000030	.00000014	-.00000030
-.00000000	.00000000	.0000010	.00000148	-.00000071	.00000149	-.00000072
.00000001	-.00000000	.0000000	-.00000004	.00000204	-.00000004	.00000205
-.00000005	.00000000	.0000034	.00000000	.00000865	.00000000	.00000870
-.00000039	-.00000000	.0000002	.00000000	-.00000310	.00000000	-.00000310
-.00000062	-.00000000	.0000018	.00000000	.00000045	.00000000	.00000045
.00000013	-.00000000	-.0000000	-.00000058	.00000065	-.00000058	.00000065
.00000001	.00000000	.0000012	.00000148	.00000158	.00000149	.00000159
-.00000001	-.00000000	-.0000001	-.00000004	.00000283	-.00000004	.00000284
.00000005	-.00000000	.0000034	.00000000	.00000865	.00000000	.00000870
-.00000039	.00000000	-.0000002	-.00000000	.00000534	-.00000000	.00000535
-.00000062	-.00000000	-.0000018	-.00000104	-.00000044	-.00000104	-.00000044
.00000013	.00000000	.0000000	-.00000022	-.00000105	-.00000022	-.00000105
-.00000001	.00000000	.0000012	-.00000069	.00000158	-.00000069	.00000159
.00000001	.00000000	-.0000001	.00000008	.00000283	.00000008	.00000284
-.00000005	.00000000	.0000034	-.00000000	-.00001701	-.00000000	-.00001711
-.00000039	-.00000000	.0000002	.00000000	.00000539	.00000000	.00000541
.00000062	.00000000	-.0000018	.00000000	.00000040	.00000000	.00000040
.00000013	-.00000000	-.0000000	-.00000069	-.00000101	-.00000069	-.00000101
.00000001	.00000000	.0000012	-.00000322	-.00000291	-.00000324	-.00000293
.00000001	.00000000	.0000001	-.00000004	.00000286	-.00000004	.00000237
.00000005	.00000086	.0000034	-.00000153	-.00001696	-.00000154	-.00001706
-.00000039	.00000005	-.0000002	-.00000049	-.00000315	-.00000049	-.00000315
.00000062	.00000093	.0000018	-.00000414	-.00000460	-.00000417	-.00000463
.00000013	-.00000004	.0000000	.00000002	.00000060	.00000002	.00000060
-.00000001	.00000062	.0000012	-.00000249	-.00000300	-.00000251	-.00000302
-.00000001	-.00000003	.0000001	.00000044	.00000287	.00000045	.00000288
-.00000007	.00000086	.0000074	.00000421	.00001289	.00000423	.00001296
-.00000081	-.00000005	.0000005	-.00000120	-.00000431	-.00000120	-.00000431
-.00000093	-.00000093	.0000028	.00000045	.00000002	.00000045	.00000002
.00000017	.00000004	-.0000001	.00000065	.00000014	.00000065	.00000014
.00000001	.00000062	.0000015	.00000158	.00000150	.00000159	.00000151
-.00000001	-.00000003	-.0000003	.00000116	.00000400	.00000117	.00000402
.00000004	.00000086	.0000074	.00000421	.00001288	.00000423	.00001295
-.00000081	.00000005	-.0000005	.00000234	.00000770	.00000235	.00000772
-.00000093	-.00000093	-.0000028	-.00000044	.00000000	-.00000044	.00000000
.00000017	-.00000004	.0000001	-.00000105	-.00000059	-.00000105	-.00000059
-.00000001	.00000062	.0000015	.00000158	.00000150	.00000159	.00000151
.00000001	.00000003	-.0000003	.00000117	.00000399	.00000117	.00000401
-.00000004	.00000086	.0000074	-.00000879	-.00000607	-.00000884	-.00000611
-.00000081	-.00000005	.0000005	.00000248	.00000169	.00000249	.00000171
.00000093	.00000093	-.0000028	.00000040	-.00000104	.00000040	-.00000105
.00000017	.00000004	-.0000001	-.00000104	-.00000022	-.00000105	-.00000022
.00000001	.00000062	.0000015	-.00000309	-.00000068	-.00000311	-.00000069
.00000001	.00000003	.0000003	.00000125	.00000399	.00000125	.00000401
.00000004	.0000024	.0000074	-.00000872	-.00002498	-.00000877	-.00002513
-.00000081	-.00000001	-.0000005	-.00000142	.00000768	-.00000142	.00000771
.00000093	.0000011	.0000028	-.00000461	-.00000004	-.00000464	-.00000004
.00000017	-.0000000	.0000001	.00000057	-.00000059	.00000057	-.00000059
-.00000001	.0000010	.0000015	-.00000282	-.00000288	-.00000284	-.00000289
-.00000001	-.0000000	.0000003	.00000130	.00000398	.00000131	.00000400
			-.00000295	-.00002499	-.00000297	-.00002514
			-.00000228	-.00000429	-.00000228	-.00000430
			-.00000192	-.00000416	-.00000194	-.00000418
			-.00000011	.00000014	-.00000012	.00000014
			-.00000074	-.00000287	-.00000074	-.00000288
			.00000202	.00000398	.00000203	.00000400

ANEXO II

Matrizes de rigidez K_{AA} dos módulos

Módulo 1, 6 e 7

$$K_{AA} = \begin{bmatrix} 102296.512 & 0 & 0 & 0 & -49180.448 & 0 \\ 0 & 21680.355 & 0 & 104516.85 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 26152769 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 104615.83 & 0 & 636711.5 & 0 & 0 \\ -49180.448 & 0 & 0 & 0 & 88479.22 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 202429.15 \end{bmatrix}$$

Módulo 2, 3 e 9

$$K_{AA} = \begin{bmatrix} 102510 & 0 & 0 & 0 & -48921.801 & 0 \\ 0 & 21689.573 & 0 & 104574.83 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 26566.62 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 104674.533 & 0 & 636711.5 & 0 & 0 \\ -48921.801 & 0 & 0 & 0 & 83940.331 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 202629.15 \end{bmatrix}$$

Módulo 4 e 5

$$K_{AA} = \begin{bmatrix} 118885.323 & 0 & 0 & 0 & -65584.191 & 0 \\ 0 & 21640.242 & 0 & 103104.55 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 26664.48 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 103104.55 & 0 & 637364.8 & 0 & 0 \\ -65584.191 & 0 & 0 & 0 & 90532.98 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 817.2513 \end{bmatrix}$$

Módulo 8

$$K_{AA} = \begin{bmatrix} 140824.143 & 0 & 0 & 0 & -70029.844 & 0 \\ 0 & 21654.14 & 0 & 103176.51 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 26038.62 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 103176.51 & 0 & 637355.43 & 0 & 0 \\ -70029.844 & 0 & 0 & 0 & 97019.53 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2500604 \end{bmatrix}$$

ANEXO III — Descrição dos programas utilizados.

1) PROGRAMA TITA

Este programa é, ao fim e ao cabo, um gerador de dados do programa EFO110 que, quando a primeira utilização, calcula deslocamentos, e da segunda tensões generalizadas.

Deve no entanto focar-se que é no corpo deste programa que se entra em consideração com todos os problemas referidos atrás (variações de temperatura, rigidez equivalente, efeitos do vento, etc.). Acrescenta-se também que foi neste programa que os problemas foram de mais difícil resolução.

Utiliza três fitas de dados. A primeira inclui as coordenadas dos vértices da estrutura e certas indicações de ordem geral, como sejam tipo dos nós, número de apoios, número de elementos, etc. A segunda transporta os esforços de tracção que vão actuar nos cabos e a terceira as características dos diferentes elementos a partir das quais, e tendo em conta a solicitação actuante, se calculam os dados próprios de cada elemento, a fornecer ao EFO110. É a segunda fita que muda de iteração para iteração, mantendo-se as outras. Esta segunda fita é gerada, a fim de cada iteração, pelo programa TRANSFERE. É ela também que constitui os resultados finais do trabalho, ou seja, os esforços de tracção que cada cabo apresenta no fim do cálculo.

2) PROGRAMA EFO110

Em cada iteração este programa é utilizado duas vezes: a primeira para calcular a matriz de rigidez da estrutura e o vector de 2.os membros. Inclui a subrotina L110 que forma a matriz de rigidez, referida ao referencial global, de cada um dos módulos. Utiliza como dados a fita de resultados do programa TITA; a segunda utilização serve para calcular, a partir dos deslocamentos dos nós e das matrizes de rigidez dos elementos, as tensões generalizadas que se instalam na estrutura. Os resultados desta 2.ª utilização servem depois de dados ao programa TRANSFERE que os selecciona de modo a constituirem os esforços em cada cabo, ao fim de cada iteração. Quanto aos resultados da 1.ª utilização — matriz de rigidez e vector de 2.os membros — vão directamente para fita magnética e vão servir de dados ao programa MSELAB que resolve o sistema de equações, fornecendo os deslocamentos.

3 A SEQUÊNCIA DOS DADOS PARA O PROGRAMA EFO110

(1.ª utilização)

Inclui:

a) — n.º arbitrário negativo (indica tratar-se da 1.ª utilização).
b) — n.º de nós.
c) — n.º de elementos.
d) — n.º de apoios rígidos.
e) — coordenadas dos nós e tipo de nó.
f) — n.º de nós de cada elemento e nós dos elementos.
g) — vector do 2.º membro.
h) — deslocamentos condicionados (apoios).
i) — características dos elementos.

Para uma melhor compreensão ver [2].

4) PROGRAMA MSELAB

Este programa limita-se a resolver o sistema de equações $\underline{F} = \underline{K}\ \underline{\Delta}$, indo buscar a matriz $\underline{K}$ e o vector $\underline{F}$ à fita magnética onde o programa EFO110, na sua 1.ª utilização, os colocou. Fornece como resultados os deslocamentos dos diversos nós da estrutura. Esta fita vai servir, juntamente com a fita de resultados do programa TITA falada arás, como dados para a 2.ª utilização do programa EFO110.

5) PROGRAMA TRANSFERE

Tem como dados a fita de resultados da 2.ª utilização do EFO110 e fornece como resultados a 2.ª fita de dados do programa TITA, na iteração seguinte. Aproveita, das tensões generalizadas fornecidas pelo EFO110 (2.ª utilização), aquelas que dizem respeito aos cabos e ordena-as para servirem de dados a TITA.

6) MARCHA DO CÁLCULO

a) Colocar em ficheiro os programas EFO110, TITA, MSELAB e TRANSFERE.
b) I = 1.
c) Chamar TITA a operação.
d) Introduzir 1.ª fita de dados — Fita A.
e) Introduzir 2.ª fita de dados — Fita B [I — I]. (Se I = 1 são os esforços de tracção iniciais nos cabos).
f) Introduzir 3.ª fita de dados — Fita C.
g) Recolher fita de resultados Fita D [I].
h) Chamar EFO110 a operação.
i) Introduzir a fita D [I] como dados. Resultados em fita magnética.
j) Chamar MSELAB a operação.
k) Recolher fita de resultados — Fita E [I] (deslocamentos).
l) Chamar EFO110 a operação.
m) Introduzir ordem do sistema.
n) Introduzir fita E [I].
o) Introduzir fita D [I].
p) Recolher resultados. Fita F [I]. (tensão generalizadas).
q) Chamar TRANSFEREE a operação.
r) Introduzir fita F [I].
s) Recolher resultados. Fita B [I]. (esforços de tracção nos cabos).
t) B [I] — B [I — 1] $< \varepsilon$? Se sim, ir para x).
u) I = I + 1.
v) Voltar a c).
x) FIM.

NOTAS: 1 — No caso presente I atingiu o valor 7.
2 — A quantidade ε deve ser suficientemente pequena de modo a poder assegurar-se que os resultados já estão suficientemente próximos dos ideais.

ANEXO IV — Valores, para cada espia e em cada iteração, dos coeficientes A, B e C da equação $E_q = \frac{A\ F^3}{B + CF^3}$

EXT.1 1	EXT.2 7			
A= [illegible]	B= [illegible]	B= [illegible]	C=	465,876876
EXT.1 2	EXT.2 7			
A= [illegible]	B= 1979346,97	C=	465,876876	
EXT.1 7	EXT.2 9			
A= 37742876,6	B= 11332376,3	C=	999,488798	
EXT.1 7	EXT.2 10			
A= 29753192,6	B= 6041172,26	C=	787,121496	
EXT.1 7	EXT.2 11			
A= [illegible]	B= [illegible]	C=	682,638903	
EXT.1 7	EXT.2 12			
A= 12735702,7	B= 923498,542	C=	817,111735	
EXT.1 7	EXT.2 13			
A= 12767378,5	B= 1037738,47	C=	849,128716	
EXT.1 7	EXT.2 14			
A= 10280941,9	B= 608421,555	C=	682,638903	
EXT.1 9	EXT.2 17			
A= 46734013,4	B= 25951328,3	C=	1289,23316	
EXT.1 10	EXT.2 17			
A= 42644668,3	B= 17503183,7	C=	1128,16583	
EXT.1 11	EXT.2 17			
A= 17219639,7	B= 1032441,08	C=	972,861080	
EXT.1 12	EXT.2 17			
A= [illegible]	B= [illegible]	C=	1073,32367	
EXT.1 13	EXT.2 17			
A= 19437165,9	B= 2924174,93	C=	1098,14514	
EXT.1 14	EXT.2 17			
A= [illegible]	B= [illegible]	C=	972,861080	
EXT.1 17	EXT.2 18			
A= [illegible]	B= [illegible]	C=	945,373182	

2ª ITERAÇÃO

EXT.1 1	EXT.2 7			
A= [illegible]	B= 1979346,97	C=	467,409812	
EXT.1 2	EXT.2 7			
A= [illegible]	B= 1979346,97	C=	467,409812	
EXT.1 7	EXT.2 9			
A= 37763237,5	B= 11332376,3	C=	999,[illegible]59412	
EXT.1 7	EXT.2 10			
A= 29755799,3	B= 6041172,26	C=	787,130459	
EXT.1 7	EXT.2 11			
A= [illegible]	B= [illegible]	C=	682,291754	
EXT.1 7	EXT.2 12			
A= 12797351,4	B= 923498,542	C=	816,537276	
EXT.1 7	EXT.2 13			
A= 12762886,5	B= 1037738,47	C=	848,795351	
EXT.1 7	EXT.2 14			
A= 10275284,0	B= 608421,555	C=	682,289773	
EXT.1 9	EXT.2 17			
A= 46701413,0	B= 25951328,3	C=	1288,39719	
EXT.1 10	EXT.2 17			
A= 42667981,8	B= 17503183,7	C=	1128,78259	
EXT.1 11	EXT.2 17			
A= 17252649,3	B= 1032441,08	C=	974,795948	
EXT.1 12	EXT.2 17			
A= 19941149,1	B= [illegible]	C=	1073,77114	
EXT.1 13	EXT.2 17			
A= 19465935,0	B= 2924174,93	C=	1099,77204	
EXT.1 14	EXT.2 17			
A= 17252649,2	B= 1032441,08	C=	974,691139	
EXT.1 17	EXT.2 18			
A= 19439199,8	B= [illegible]	C=	942,297770	

3ª ITERAÇÃO

EXT.1 1 EXT.2 7
A= 17543156.2 B= 1278346.97 C= 465.727795

EXT.1 2 EXT.2 7
A= 17543156.2 B= 1278346.97 C= 465.727795

EXT.1 7 EXT.2 9
A= 32729956.2 B= 11532576.3 C= 999.779163

EXT.1 7 EXT.2 10
A= 29758937.9 B= 6041172.26 C= 787.220978

EXT.1 7 EXT.2 11
A= 10274876.7 B= 508421.565 C= 682.262709

EXT.1 7 EXT.2 12
A= 12796913.6 B= 923498.542 C= 816.484926

EXT.1 7 EXT.2 13
A= 12782697.0 B= 1037739.47 C= 848.786330

EXT.1 7 EXT.2 14
A= 10275312.1 B= 508421.565 C= 682.271737

EXT.1 9 EXT.2 17
A= 49481376.6 B= 25991328.3 C= 1256.48345

EXT.1 10 EXT.2 17
A= 42867193.3 B= 17503183.7 C= 1126.78998

EXT.1 11 EXT.2 17
A= 17947191.2 B= 1832441.08 C= 974.416371

EXT.1 12 EXT.2 17
A= 19034580.0 B= 9715301.63 C= 1075.31525

EXT.1 13 EXT.2 17
A= 19463563.3 B= 9924179.93 C= 1089.40786

EXT.1 14 EXT.2 17
A= 17987748.4 B= 1832441.08 C= 974.433664

EXT.1 15 EXT.2 16
A= 19427833.3 B= 17642153.3 C= 942.119036

4ª ITERAÇÃO

EXT.1 1 EXT.2 7
A= 17543374.7 B= 1278346.97 C= 467.746491

EXT.1 2 EXT.2 7
A= 17543374.7 B= 1278346.97 C= 467.746491

EXT.1 7 EXT.2 9
A= 32729998.2 B= 11532576.3 C= 999.182694

EXT.1 7 EXT.2 10
A= 29758864.7 B= 6041172.26 C= 787.197480

EXT.1 7 EXT.2 11
A= 10274986.6 B= 508421.565 C= 682.264718

EXT.1 7 EXT.2 12
A= 12796469.2 B= 923498.542 C= 816.488351

EXT.1 7 EXT.2 13
A= 12782656.0 B= 1037739.47 C= 848.781938

EXT.1 7 EXT.2 14
A= 10275039.5 B= 508421.565 C= 682.273942

EXT.1 9 EXT.2 17
A= 48781147.1 B= 25991328.3 C= 1288.39013

EXT.1 10 EXT.2 17
A= 42867939.1 B= 17503183.7 C= 1128.78122

EXT.1 11 EXT.2 17
A= 17947994.9 B= 1832441.08 C= 974.460797

EXT.1 12 EXT.2 17
A= 19034369.2 B= 9715301.63 C= 1075.38920

EXT.1 13 EXT.2 17
A= 19463363.3 B= 9924179.93 C= 1090.67563

EXT.1 14 EXT.2 17
A= 17987499.9 B= 1832441.08 C= 974.435191

EXT.1 17 EXT.2 16
A= 19427833.4 B= 17642153.3 C= 942.119071

5ª. ITERAÇÃO

```
EXT.1  1     EXT.2  7
A=  17648472.9      B=  1278346.97      C=  466.890818

EXT.1  2     EXT.2  7
A=  17648472.9      B=  1278346.97      C=  466.890818

EXT.1  7     EXT.2  9
A=  37769892.4      B=  11332376.3      C=  999.203504

EXT.1  7     EXT.2 10
A=  29756444.7      B=  6041172.26      C=  787.207931

EXT.1  7     EXT.2 11
A=  10274892.0      B=  508421.555      C=  682.263742

EXT.1  7     EXT.2 12
A=  12296428.3      B=  923498.542      C=  816.495900

EXT.1  7     EXT.2 13
A=  12782665.4      B=  1037738.47      C=  848.782560

EXT.1  7     EXT.2 14
A=  10275076.3      B=  508421.555      C=  682.272661

EXT.1  9     EXT.2 17
A=  48700554.4      B=  25951328.3      C=  1288.37445

EXT.1 10     EXT.2 17
A=  42667565.2      B=  17503183.7      C=  1128.77157

EXT.1 11     EXT.2 17
A=  17247870.0      B=  1832441.08      C=  974.455930

EXT.1 12     EXT.2 17
A=  19034233.0      B=  2715301.63      C=  1075.38040

EXT.1 13     EXT.2 17
A=  19463342.3      B=  2924174.93      C=  1099.62386

EXT.1 14     EXT.2 17
A=  17247423.9      B=  1832441.08      C=  974.430729

EXT.1 17     EXT.2 18
A=  39427031.2      B=  13642153.3      C=  942.103494
```

6ª ITERAÇÃO

```
EXT.1  1     EXT.2  7
A=  17651292.9      B=  1278346.97      C=  466.965421

EXT.1  2     EXT.2  7
A=  17651292.9      B=  1278346.97      C=  466.965421

EXT.1  7     EXT.2  9
A=  37769490.0      B=  11332376.3      C=  999.192858

EXT.1  7     EXT.2 10
A=  29756255.0      B=  6041172.26      C=  787.202512

EXT.1  7     EXT.2 11
A=  10274899.1      B=  508421.555      C=  682.264217

EXT.1  7     EXT.2 12
A=  12296446.1      B=  923498.542      C=  816.497085

EXT.1  7     EXT.2 13
A=  12782660.5      B=  1037738.47      C=  848.782236

EXT.1  7     EXT.2 14
A=  10275032.7      B=  508421.555      C=  682.273089

EXT.1  9     EXT.2 17
A=  48700884.2      B=  25951328.3      C=  1288.38239

EXT.1 10     EXT.2 17
A=  42667748.0      B=  17503183.7      C=  1128.77640

EXT.1 11     EXT.2 17
A=  17247858.4      B=  1832441.08      C=  974.455275

EXT.1 12     EXT.2 17
A=  19034216.6      B=  2715301.63      C=  1075.37947

EXT.1 13     EXT.2 17
A=  19463338.8      B=  2924174.93      C=  1099.62366

EXT.1 14     EXT.2 17
A=  17247411.9      B=  1832441.08      C=  974.430053

EXT.1 17     EXT.2 18
A=  39427162.6      B=  13642153.3      C=  942.106633
```

7ª. ITERAÇÃO

EXT.1 1 EXT.2 7
A= 17649932.4 B= 1278346.97 C= 465.929429

EXT.1 2 EXT.2 7
A= 17649932.4 B= 1278346.97 C= 465.929429

EXT.1 7 EXT.2 9
A= 37769581.4 B= 11332376.3 C= 999.197921

EXT.1 7 EXT.2 10
A= 29756345.0 B= 6041172.26 C= 787.204893

EXT.1 7 EXT.2 11
A= 10274895.8 B= 508421.555 C= 682.263994

EXT.1 7 EXT.2 12
A= 12296437.6 B= 923498.542 C= 816.496523

EXT.1 7 EXT.2 13
A= 12782662.8 B= 1037738.47 C= 848.782387

EXT.1 7 EXT.2 14
A= 10275029.7 B= 508421.555 C= 682.272339

EXT.1 9 EXT.2 17
A= 48700711.9 B= 25951328.3 C= 1288.37862

EXT.1 10 EXT.2 17
A= 42667660.9 B= 17503183.7 C= 1128.77410

EXT.1 11 EXT.2 17
A= 17247872.7 B= 1832441.08 C= 974.456084

EXT.1 12 EXT.2 17
A= 19034240.9 B= 2715301.63 C= 1075.38084

EXT.1 13 EXT.2 17
A= 19463341.9 B= 2924174.93 C= 1099.62384

EXT.1 14 EXT.2 17
A= 17247425.6 B= 1832441.08 C= 974.430525

EXT.1 17 EXT.2 18
A= 39427109.4 B= 13642153.3 C= 942.105147

ANEXO V

PREESFORCOS FINAIS EM CADA CABO POR EFEITO DE VARIACAO DE TEMPERATURA
SEM VENTO

CASO 1 AUMENTO DE 10 GRAUS CENT.		CASO 2 DIMINUICAO DE 10 GRAUS CENT.	
CABO 1	PREESFORCO= 1.43704$_{10}$+01	CABO 1	PREESFORCO= 1.76735$_{10}$+01
CABO 2	PREESFORCO= 1.43589$_{10}$+01	CABO 2	PREESFORCO= 1.76826$_{10}$+01
CABO 3	PREESFORCO= 1.91148$_{10}$+01	CABO 3	PREESFORCO= 2.29374$_{10}$+01
CABO 4	PREESFORCO= 1.91069$_{10}$+01	CABO 4	PREESFORCO= 2.29438$_{10}$+01
CABO 5	PREESFORCO= 4.38457$_{10}$+01	CABO 5	PREESFORCO= 5.30624$_{10}$+01
CABO 6	PREESFORCO= 3.90792$_{10}$+01	CABO 6	PREESFORCO= 4.79507$_{10}$+01
CABO 7	PREESFORCO= 3.90792$_{10}$+01	CABO 7	PREESFORCO= 4.79507$_{10}$+01
CABO 8	PREESFORCO= 3.94889$_{10}$+01	CABO 8	PREESFORCO= 4.76202$_{10}$+01
CABO 9	PREESFORCO= 1.43131$_{10}$+01	CABO 9	PREESFORCO= 1.77183$_{10}$+01
CABO 10	PREESFORCO= 1.43131$_{10}$+01	CABO 10	PREESFORCO= 1.77183$_{10}$+01
CABO 11	PREESFORCO= 1.90709$_{10}$+01	CABO 11	PREESFORCO= 2.29733$_{10}$+01
CABO 12	PREESFORCO= 1.90709$_{10}$+01	CABO 12	PREESFORCO= 2.29733$_{10}$+01
CABO 13	PREESFORCO= 3.94360$_{10}$+01	CABO 13	PREESFORCO= 4.76715$_{10}$+01
CABO 14	PREESFORCO= 3.96851$_{10}$+01	CABO 14	PREESFORCO= 4.74633$_{10}$+01
CABO 15	PREESFORCO= 3.92732$_{10}$+01	CABO 15	PREESFORCO= 4.78017$_{10}$+01
CABO 16	PREESFORCO= 3.95439$_{10}$+01	CABO 16	PREESFORCO= 4.75827$_{10}$+01

PREESFORCOS FINAIS EM CADA CABO POR EFEITO DE VARIACAO DE TEMPERATURA
VENTO EXCEPCIONAL

CASO 1 AUMENTO DE 10 GRAUS CENT.		CASO 2 DIMINUICAO DE 10 GRAUS CENT	
CABO 1	PREESFORCO= 1.60272$_{10}$+01	CABO 1	PREESFORCO= 1.89151$_{10}$+01
CABO 2	PREESFORCO= 1.59305$_{10}$+01	CABO 2	PREESFORCO= 1.88516$_{10}$+01
CABO 3	PREESFORCO= 2.13433$_{10}$+01	CABO 3	PREESFORCO= 2.46787$_{10}$+01
CABO 4	PREESFORCO= 2.12861$_{10}$+01	CABO 4	PREESFORCO= 2.46438$_{10}$+01
CABO 5	PREESFORCO= 4.72234$_{10}$+01	CABO 5	PREESFORCO= 5.55999$_{10}$+01
CABO 6	PREESFORCO= 4.01287$_{10}$+01	CABO 6	PREESFORCO= 4.86733$_{10}$+01
CABO 7	PREESFORCO= 4.01287$_{10}$+01	CABO 7	PREESFORCO= 4.86733$_{10}$+01
CABO 8	PREESFORCO= 4.28346$_{10}$+01	CABO 8	PREESFORCO= 5.01878$_{10}$+01
CABO 9	PREESFORCO= 1.54543$_{10}$+01	CABO 9	PREESFORCO= 1.85371$_{10}$+01
CABO 10	PREESFORCO= 1.54543$_{10}$+01	CABO 10	PREESFORCO= 1.85371$_{10}$+01
CABO 11	PREESFORCO= 2.07904$_{10}$+01	CABO 11	PREESFORCO= 2.42826$_{10}$+01
CABO 12	PREESFORCO= 2.07904$_{10}$+01	CABO 12	PREESFORCO= 2.42826$_{10}$+01
CABO 13	PREESFORCO= 4.13614$_{10}$+01	CABO 13	PREESFORCO= 4.91042$_{10}$+01
CABO 14	PREESFORCO= 4.42456$_{10}$+01	CABO 14	PREESFORCO= 5.11000$_{10}$+01
CABO 15	PREESFORCO= 4.13222$_{10}$+01	CABO 15	PREESFORCO= 4.92865$_{10}$+01
CABO 16	PREESFORCO= 4.44243$_{10}$+01	CABO 16	PREESFORCO= 5.14133$_{10}$+01

ANEXO VI

CABO 1	FACTOR MAJORANTE= 1.86722$_{10}$+00
CABO 2	FACTOR MAJORANTE= 1.87037$_{10}$+00
CABO 3	FACTOR MAJORANTE= 1.80064$_{10}$+00
CABO 4	FACTOR MAJORANTE= 1.80485$_{10}$+00
CABO 5	FACTOR MAJORANTE= 1.63173$_{10}$+00
CABO 6	FACTOR MAJORANTE= 1.70504$_{10}$+00
CABO 7	FACTOR MAJORANTE= 1.70504$_{10}$+00
CABO 8	FACTOR MAJORANTE= 1.57989$_{10}$+00
CABO 9	FACTOR MAJORANTE= 1.83732$_{10}$+00
CABO 10	FACTOR MAJORANTE= 1.83732$_{10}$+00
CABO 11	FACTOR MAJORANTE= 1.73973$_{10}$+00
CABO 12	FACTOR MAJORANTE= 1.73973$_{10}$+00
CABO 13	FACTOR MAJORANTE= 1.37812$_{10}$+00
CABO 14	FACTOR MAJORANTE= 1.60045$_{10}$+00
CABO 15	FACTOR MAJORANTE= 1.56951$_{10}$+00
CABO 16	FACTOR MAJORANTE= 1.76243$_{10}$+00

8 — BIBLIOGRAFIA

Além dos artigos referidos na Revisão de Conhecimentos indicam-se, como bibliografia especialmente consultada, os seguintes livros e artigos:

1 — The Finite Element Method in Engineering Science, por O. Zienkiewcz, MacGraw Hill, 1971.

2 — Fundamentos da Teoria das Estruturas, por E. R. Arantes e Oliveira, curso 109, L.N.E.C., Lisboa 1969.

3 — Notes Techniques du C.E.C.M., por Charles Massonet, Bruges, Bélgica.

4 — Solution Statique et Dynamique des Pylônes d'Antenne Haubannés, Mémoires A.I.P.C., vol. 8, 1947, por V. Kolousek.

5 — Bulletin CERES, tome I, artigo de Charles Massonet.

6 — Der Stahlbau n.º8/9, 1940, por J. Argyris.

Feiras, Conferências, Exposições e Congressos

OBJECTIVOS E PROGRAMA	LOCAL, DATA, ORGANIZAÇÕES E INFORMAÇÕES
CONEX PÓ 75 Exposição Mundial de Máquinas	Chicago Fevereiro - 75
Congresso Interprinta Exposição e demonstração técnicas	Düsseldorf 20 a 26 de Fevereiro - 75
Salão de Maquinaria agricula	París 2 a 9 de Março - 75
Feira Internacional de Nice	Nice 6 a 17 de Março - 75
Foire Européenne du Matériel Didatique	Nüremberg 10 au 14 Mars - 75
Feira Internacional de Lyon	Lyon 15 a 24 de Março - 75
Salon Internacional des Composants Electroniques	París (parque de Exposição de Porta de versailles) 2 a 8 de Abril - 75
Mecanelem Salão da Fundição	París 7 a 12 de Abril - 75
Feira de Lille	Lille 11 a 21 de Abril - 75
Feira Iternacional de Milão	Milão 14 a 25 de Abril - 75
Conference Nucleaire Europeenne	París (Organizada pela Sociedade Europeia de Energia Nuclear com a colaboração da Sociedade Nuclear Americana) Abril - 75
Exposição Internacional do metal e seus derivados	Londres Abril - 75
Foire Internacional de Machines et Materiaux d'Embales	Düsseldorf 9 a 15 — Maio - 75 Interpack 75
Congresso Internacional sobre Srtuctural Questions of Underground Railwais Secretariado: Kospek distudamanyi Egyesület, 1655, Boudapest Kossutk Lajos ter 6-8 Hungary	Hungray Scientific soc for transports 12 a 25 Maio Bulatou füred
Colloque sur l'emplor de rayumnents de haute intensite por le traitements des déchets	Munich 17 - 21 Mais - 75 Rep. Féd. d'Allemagne

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

TELEF. 5 20 91/2/3 — OVAR - PORTUGAL — TELEG. FELTROS

FELTROS TECIDOS
TECIDOS FILTRANTES E INDUSTRIAIS

de fibras naturais ou sintéticas, puras ou em mistura
em qualquer formato e dimensão
para

Indústria papeleira
Pastas para papel
Fibrocimento
Curtumes
Industriais têxteis
Estamparia
Acabamentos
Lavandarias
Hospitais e Hotéis
Lonas em sintético

Correias transportadoras
Indústrias químicas
Filtração de água
Cervejas
Refrigerantes
Lacticínios
Azeite e produtos oleosos
Produtos gordurosos
Geleias

Vinhos
Açúcar
Farinhas alimentares
Sabões e detergentes
Cerâmicas
Captação e recuperação de poeiras
Despoeiragens
Tubos de ventilação
etc., etc., etc.

OS NOSSOS SERVIÇOS TÉCNICOS ESTÃO SEMPRE À VOSSA INTEIRA DISPOSIÇÃO PARA ESTUDAR QUALQUER PROBLEMA DE TECIDOS INDUSTRIAIS

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESTRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

DELEGAÇÃO - LISBOA
Tr. do Guarda Mór, 13-r/c
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
R. Francisco Newton, 389/393
C. P. 2178 - Tel. 81 89 7

MOÇAMBIQUE
L. Marques - C. P. 982 - Tel. 74 11 21
Beira - C. P. 1002 - Tel. 7 14 97